الفقد فى الطاقة الكهربائية

Losses In Electrical Energy



دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد

مراجعة
دكتور مهندس
كامل يس

الفقد فى الطاقة الكهربائية

Losses In Electrical Energy

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

مراجعة

دكتور مهندس

كامل يس

٢٠٠٤

تصميم الغلاف

مهندس / أحمد طه هاشم

حديث شريف :

" تعلموا العلم فإن تعلمه لله خشية وطلبه عبادة، ومدارسته تسبيح، والبحث عنه جهاد ، وتعليمه من لا يعلمه صدقة، وبذله لأهله قربة، وهو الأنيس فى الوحدة، والصاحب فى الخلوة، والدليل على الدين ، والمصبر على السراء والضراء، والوزير عند الاخلاء، والقريب عند الغرباء،ومنار سبيل الجنة، يرفع الله به أقواما فيجعلهم فى الخير قادة سادة هداة يقتدي بهم، أدلة في الخير تقتص آثارهم وترمق أفعالهم ، وترغب الملائكة فى خلتهم وبأجنحتها تمسحهم، وكل رطب ويابس لهم يستغفر حتى حيتان البحر وهوامه وسباع البر وأنعامه والسماء ونجومها "

صدق رسول الله صلى الله عليه وسلم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقـــــدمة

تعمل الشركة القابضة لكهرباء مصر وشركاتها التابعة على الاستخدام الامثل لمصادر الطاقة الكهربائية منذ لحظة إنتاجها وحتى وصـــولها الى قطـــاعات الاستهلاك عبـــر شبكات النقل والتوزيع ولها فى ذلك العديد من السياسات نذكر منها :

- رفع كفاءة اداء عناصر الشبكة الكهربائية الموحدة بما يؤدى الى رفع مستوى الاتاحية وزيادة الانتاجية مع المحافظة على البيئة
- التخطيط لمواجهة الاحمال المستقبلية بحيث يتم استخدام احدث التكنولوجيات فى المشروعات الحديثة وتحميلها بمعامل الحمل المناسب ٠

ويعتبر تخفيض نســبة الفقد فى الطاقة الكهربائية احد العوامل الرئيسية لتنفيذ هذه السياسات ، وقد تم بذل جهود كبيرة أدت الى تحقيق تقدم ملموس بالوصول بنسبة الفقد الى ١٢,٥% عام ٢٠٠٢/٢٠٠٣ فى شبكات النقل والتوزيع مقابل ١٨,٦%عام ١٩٨٠/١٩٨١ مما كان له ابلغ الاثر فى تحقيـــق وفـــر كبيـــر فى الطاقة الكهربائية وتجنب انفاق استثمارات جديدة مقابلها لمواجهـــة التطـــور فى الطلـــب على الطاقة الكهربائية ٠

وقد بذل المؤلف جهدا مشكورا فى اعداد هذا الكتاب عن الفقد فى الطاقة الكهربائية من كل جوانبه محددا الاسباب ووسائل العلاج بسهولة ويسر مما يجعل منه مرجعا نأمل أن يحقـــق الاغـــراض المرجوه منه وأن يكون مفيدا لجميع المعـــنيين بقطاع الكهرباء والطاقة

القاهرة - يوليو ٢٠٠٤

رئيس مجلس إدارة
الشركة القابضة لكهرباء مصر
دكتور مهندس / محمد محمد عوض

بسم الله الرحمن الرحيم

مقـــــــدمه

تعتبر الطاقة الكهربائية أفضل وأنظف أنواع الطاقة وأكثرها كفاءة وشيوعا ..
لـذا كـان لـزاما الحفـاظ عليها والوصول الى الفقد منها الى المستويات العالمـيه المسموحه ..
ولقـد نجحـت الشـركة القابضة لكهرباء مصر فى تنفيذ العديد من الاجراءات بهدف تحسـين اداء الشـبكة الكهربائـيه وتخفيض نسبة الفقد ..   ووضعت خطة علميه مدروسه تسـتهدف خفض معدل الفقد فى الطاقة الكهربائية بالشـبكة القومية بمعدل ١% سـنويا لتوفـير ٩٠ مليـون جنيه سنويا والوصول بالفقد الى أفضل المعدلات العالمـيه .. بالاضـافه الى الحفاظ على البيئه وتقليل الاستثمارات المطلوبه لاضافة قدرات جديده لمواجهة تزايد الاستهلاك فى الطاقة الكهربائية ..
وكان من مؤشرات تحسين اداء الشبكة القومية للكهرباء :

١- انخفـاض متوسط معدل أستخدام الوقود بالمحطات الحرارية من حوالى ٣٤٦جرام مازوت مكافىء لكل كيلووات سـاعة عام ١٩٨٢/٨١ الى حـوالى ٢٢٣,٥ جرام مازوت مكافىء لكل كيلووات سـاعة عام ٢٠٠٣/٢٠٠٢ أى بنسبة خفض تقـدر بنحو ٣٤% .
٢- بلغـت نسـبة اسـتخدام الغاز الطبيعى حاليا حـوالى ٩٨% من اجمالى الوقـود المسـتهلك فى المحـطات المرتبطة بشبكة الغـاز الطبيعى بدلا من ٢١% سـنه ١٩٨٢/٨١ .
٣- تم استغلال معظم الطاقة المائيه المتاحه فى توليـد الطاقة الكهربائية
٤- بلغ متوسط اتاحة محطات التوليد ٨٧% نتيجة للاهتمام ببرامج الصيانة
٥- الاهتمـام بصيانة وتشغيل وتحميل شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهـربائية

جارى تنفيذ خطة علمية مدروسه بجميع شركات الانتاج والنقل والتوزيع تستهدف خفض معدل الفقد فى الطاقة الكهربائية بالشبكة القومية بمعدل ١% سنويا ويستهدف الوصول بالفقد الى أقل من ٦% ومن خلال هذا البرنامج يتم تركيب أحدث المعدات والاجهزه لترشيد الوقود اللازم لانتاج الطاقة الكهربائيه ٠٠ وتركيب مكثفات القدرة وعلاج التوافقيات لشبكات التوزيع والمحولات ٠٠

ولقد شرفت بدعوتى للتعاون لاخراج هذا الكتاب الى حيز الوجود وارجو أن أكون قد ساهمت بعض الشىء فى هذا العمل بجانب الجهود الزاخرة والمتميزه لشركة الاسكندرية لتوزيع الكهرباء وقياداتها التى تقدم خدمة جليلة للعاملين فى مجال الكهرباء والطاقة بتبنيها هذه السلسلة من الاصدارات العلمية والعملية والتى تفيد كافة العاملين والمهتمين فى هذا المجال ٠

وفقنا الله للوفاء باحتياجات الطاقة الكهربائية والحفاظ على استقرار الشبكة الكهربائية القومية واستمرارية عطائها على أفضل صورة فى كافة الظروف وفى كل المراحل ٠٠

القاهرة- يوليو ٢٠٠٤

د.م / كامل ياسين
نائب رئيس الشركة القابضة لكهرباء مصر
للبحوث والتخطيط ومشروعات التوليد
وشئون شركات الخدمات

بسم الله الرحمن الرحيم

مقـــــــدمة

عالميا يوصف قطاع الكهرباء والطاقة بأنه قاطرة التنمية الاقتصادية والبيئية ولذا فأن ازدهاره وتقدمه يقود باقى القطاعات للازدهار والتقدم والرقى ، من هنا كان لزاما على الجميع الحفاظ على الطاقة الكهربائية وذلك من خلال وسائل متعددة منها تخفيض الفقد فى الطاقة الكهربائية ٠

لذا كان السعى لإصدار هذا الكتاب " الفقد فى الطاقة الكهربائية " والذى يحتوى على عدد ١٧ باب ومزود بعدد من الملاحق ويدور الكتاب حول الموضوعات الآتية :
مفقودات القدرة والطاقة ٠٠ المفقـــودات فى جميع مكونات المنظومة الكهربائية (المولدات – شبكات النقل – شبكات التوزيع) – المفقودات والتوافقيات – تعويض القدرة غير الفعاله – تقييم المفقودات – قيم المفقودات الكهربائية – الفقد غير الفنى والعدادات ٠٠

إن الاهتمام والتوجيه الدائم للسيد د ٠م/ *حسن يونس وزير الكهرباء والطاقة* للحفاظ على مستوى كفاءة عالية لمحطات التوليد وشبكات النقل وشبكات التوزيع كان الدافع والحافز لاعداد وإصدار هذا الكتاب ٠

وأتقدم بالشكر للسيد د ٠م/ محمد محمد عوض رئيس مجلس ادارة الشركة القابضة لكهرباء مصر على تفضل سيادته بمقدمة الكتاب ذات المغذى والمعنى ولحث وتشجيع سيادته المستمر على مسايرة وتقديم الجديد عالميا فى المجال العلمى ٠

ولقد وافـــق السيد المهندس / محمد حسين عاشـــور رئيس مجلـــس الادارة والعضو المنتدب لشركة الإسكندرية لتوزيع الكهرباء على طباعة الكتـــاب على نفقـــة الشركة لضمان وصول الكتاب الى أكبر عدد من المهتمين بهذا المجال ٠٠ أتوجـــه لسيادته بالشكر على تبنيه هذا العمل ٠٠

وقد قام بمراجعة الكتاب السيد د٠م/ كامل ياسين نائب رئيس الشركة القابضة لكهرباء مصر للبحوث والتخطيط ومشروعات التوليد وشئون شركات الخدمات
والذي أضفى قيمه عظيمة للكتاب وساعد سيادته في إخراج الكتاب في الصورة التى ظهر بها ٠
وقامت دار الجامعين للطباعة والنشر بجهد مشرف في سبيل إخراج الكتاب على هذا النحو ٠

وعلى الله قصد السبيل

والحمد لله رب العالمين

وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم

الاسكندر يه فى

يوليو ٢٠٠٤

د٠م/ كاميليا يوسف محمد

الفهرس

ملحق (B)

الباب الأول

خلفية

BACKGROUND

المتأمل لأرقام تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية وضخامة الاستثمارات المطلوبة لتنمية قطاعات الكهرباء ومعدل زيادة الأسعار وارتفاع نسبة المفقودات .. لابد وأن يصل إلى إقتناع تام بضرورة العمل على منع هدر الطاقة وتخفيض مفقودات الطاقة الكهربائية..

تتغير المفقودات الكهربائية لمدى واسع والتى تعتمد على : تركيبة مكونات الشبكة، المنطقة الجغرافية التى بها الشبكة الكهربائية ، ونوع المحطات .. وتشير التقديرات التقريبية إلى أن الفقد الكهربي يتغير من 0.5% إلى 20%

من النظرة الأولى نجد أن المفقودات الكهربائية تمثل جزء صغير من الطاقة الكهربائية الكلية .. لذا فإن بعض الآراء تشير إلى انه غير ذي جدوى أن ينفق الكثير على هذا الفقد ... ولكن فى المقابل نجد أن وفر كيلووات واحد فى المفقودات يوفر حوالي 3 كيلووات من طاقة الوقود. بالإضافة للوفر في تكلفة الوقود المستهلك، فإن الوفر فى القدرة المولدة تشير إلى الوفر في الاستثمارات اللازمة لإضافة معدات التوليد والنقل والتوزيع ..

في الكثير من الدراسات والتطبيقات العملية وجد أن تكلفة إجراءات تحسين وتخفيض المفقودات، والتي تمثل بوفر فى القدرة (KW) والطاقة (KWH) ، تكون أقل بكثير من تكلفة إنشاء محطات توليد وخطوط نقل ..

عند دراسة إجراءات تخفيض المفقودات يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عامل النسبة بين الفائدة إلى التكلفة (benefits to costs) ، بينما عند تصميم وتشغيل الإنشاءات الكهربائية يجب أن يكون الفقد أحد المعايير الهامة .

تتكون انظمة القوى الكهربائية من :-

- مولدات (Generators)
- محولات رفع (Step-up transformers)
- خطوط نقل الجهد فائق او الجهد عالي (EHV or HV transmission)
- محطات النقل (Transmission Substations)
- خطوط نقل فرعى (Sub - transmission)
- محطات توزيع (Distribution Substations)
- خطوط توزيع ابتدائي (Distribution primary)
- محولات توزيع (Distribution transformers)
- نظام ثانوي (Secondary system)

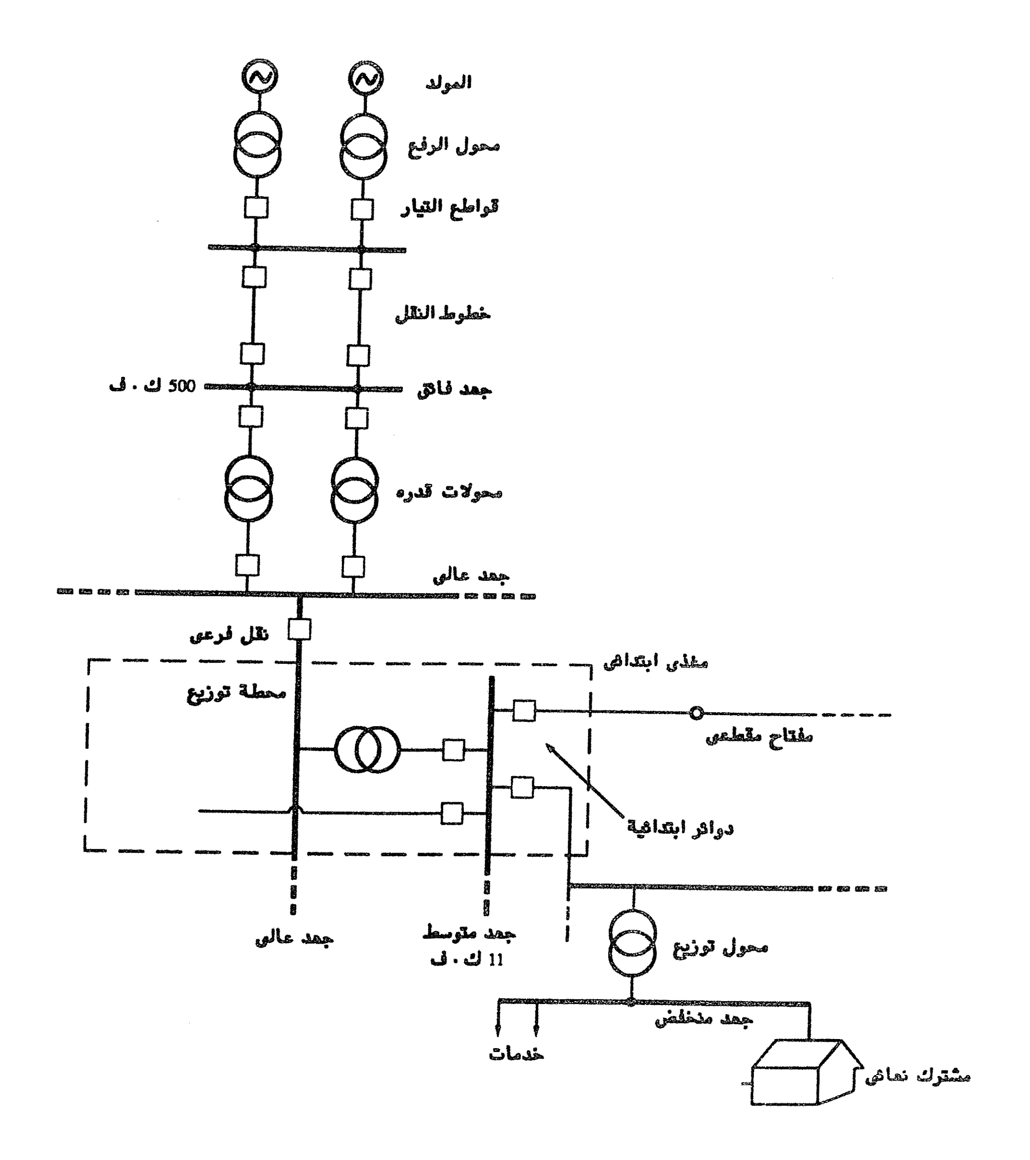
وتحتوى نظم القوى على جهود تشغيل مختلفة : جهد فائق – جهد عالي – جهد متوسط – جهد منخفض .

يوضح شكل (1-1) تمثيل لمكونات اى شبكة كهربائية.

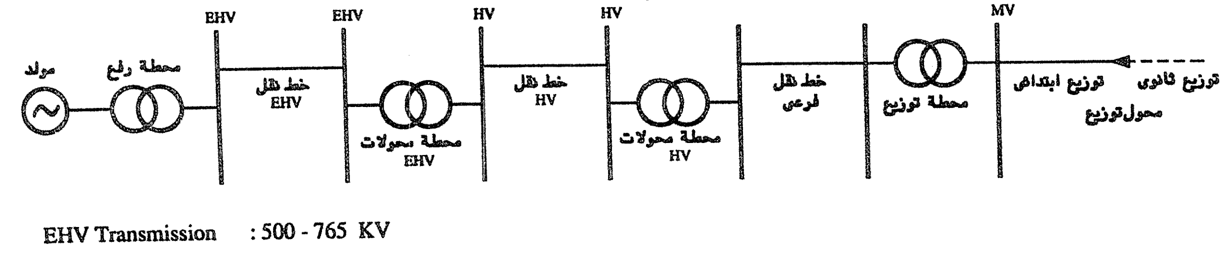
ويوضح شكل (1-2) مكونات الشبكات الكهربائية معرفا عليها جهود القضبان الرئيسية.

وتحدث المفقودات الكهربائية فى مكونات الشبكة الكهربائية نتيجة سريان القدرة الكهربائية (Power Flow) من مصادر التوليد وحتى المستهلك النهائي (الحمل) كما فى شكل (3 -1).

ويوضح شكل (4-1) أحمال مشتركين على الجهود العالية والمتوسطة والمنخفضة وتمثيل المفقودات عند كل مستوى.

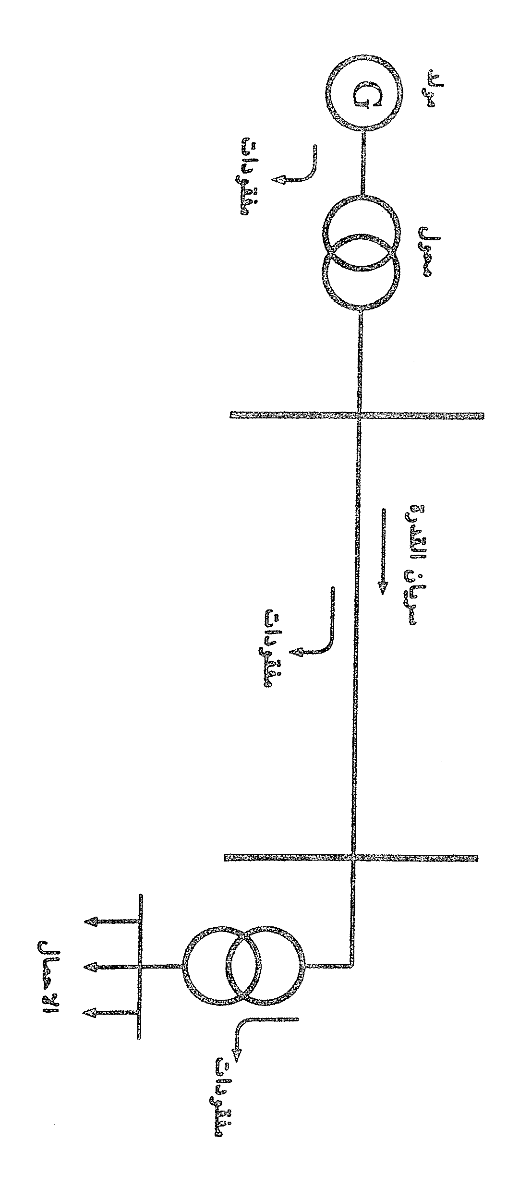


شكل (1-1) تمثيل لمكونات الشبكه الكهربائيه

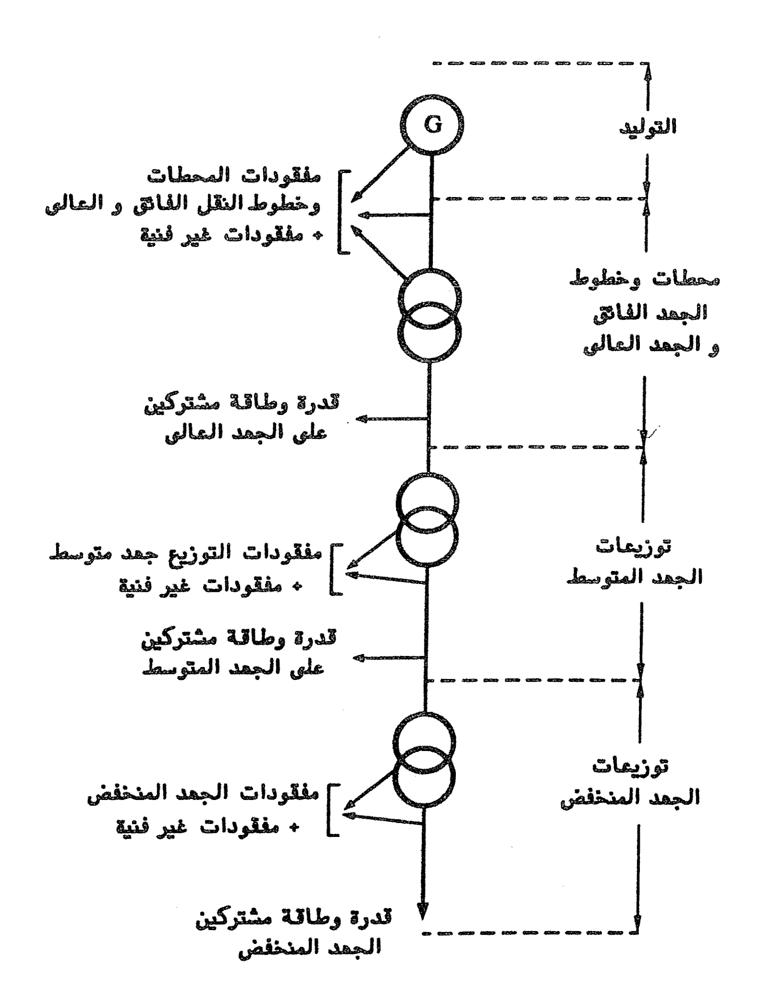


EHV Transmission : 500 - 765 KV
HV Transmission : 230 - 345 KV
Subtransmission : 69 - 115 KV
Primary distribution : 4 - 35 KV
Secondary distribution : 115 - 480 V

شكل (2 - 1) مكونات شبكات الكهرباء (توليد-نقل-توزيع)
مع تعريف جهود القضبان الرئيسيه



شكل (3 - 1) تمثيل لاماكن المفقودات بالشبكة الكهربائية



شكل (4 - 1) الفقد بالاجزاء المختلفة للشبكة الكهربائية

مـــن المعروف ان الفقد هو كمية القدرة الكهربائية المفقودة بين موضعين فى الشبكة الكهربائية.

اذا كان الموضعان هما عند قضبان المولد وعند قضبان المشتركين النهائي (الحمل) فـــان الفقـــد عندئذ يعرف بفقد النظام (System Losses) ، كما فى جدول (1-1) والـــذي يوضح مفقودات النظام كإجمالي لمكونات الشبكة وهى : محطة الرفع – محطة وخـــط نقـــل الجهد الفائق – خطوط نقل فرعية – محطة توزيع – التوزيع الابتدائي – محول التوزيع والتوزيع الثانوي ..

أمـــا إذا كان الموضعان هما مدخل ومخرج مكون أو أكثر من مكونات النظام فإن الفقد عـــندئذ يعـــرف بفقد المعدات (equipment Losses) ، يوضح جدول (1-2) حدود المفقودات لأمثلة من معدات الشبكة الكهربائية ويوضح شكل (5 -1) أوضاع المفقودات بالشبكات الكهربائية .

تنقسم المفقودات الكهربائية الى مكونين هما :

- مفقودات الطلب (أو القدرة) (Demand Losses)
- مفقودات الطاقة (Energy Losses)

عـــند زمـــن حـــدوث ذروة النظام، فإن مفقودات الحمل تؤدى إلى زيادة السعة المولدة المطلوبة.

وتحتاج مفقودات الطاقة إلى طاقة إضافية زائدة عن احتياجات حمل النظام.

لـــنظم القـــدرة الكهربائية التى تتعدى نسبة المفقودات بها القيم القياسية العالمية يجب تكثـــيف العمل للحد من هذه المفقودات .. يوضح جدول (1-3) نموذج لفحص تمهيدى لمستويات فقد قدرة النظام وتقييم كل عنصر .

جدول (1-1) مفقودات الطلب (كنسبه من kw المولدة)

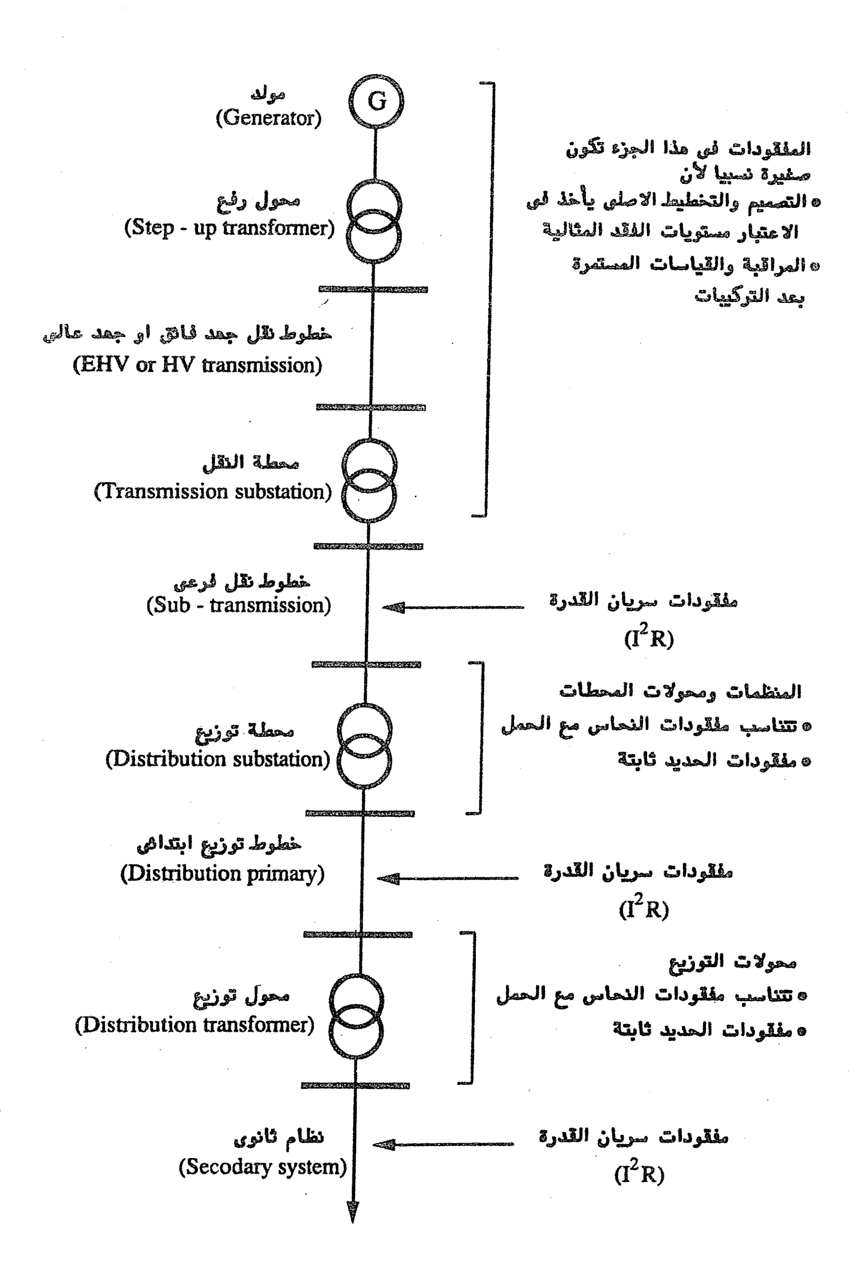
المكون	الهدف (Target)		أقصى قيمه مسموحه Maximum to be tolerated	
	النسبة %	التراكمي %	النسبة %	التراكمي %
محطة الرفع Step- up station	0.25%	0.25%	0.50%	0.50 %
محطة وخط نقل الجهد الفائق EHV Transmission & Substation	0.5	0.75	1.00	1.50
محطة وخط نقل الجهد العالي HV Transmission & Substation	1.25	2.00	2.50	4.00
خطوط نقل فرعية Sub Transmission	2.00	4.00	4.00	8.00
محطة توزيع Distribution Station	0.25	4.25	0.50	8.50
التوزيع الابتدائي Distribution Primary	3.00	7.25	5.00	13.50
محول التوزيع والتوزيع الثانوي Distribution transformer&secondary	1.00	8.25	2.00	15.50
فقد النظام System losses		8.25%		15.50%

Source : Ref . [2]

جدول (2-1) حدود المفقودات فى مكونات الشبكات الكهربائية

حدود فقد الطاقة كنسبه من الحمل الكلى(%)	المكونات (المعدات)
0.002 - 0.015	قواطع التيار للتركيب خارج مبانى (جهد 12-230 kv) Outdoor circuit breaker
0.09 - 3.5	المولدات Generators
0.005 - 0.02	مجموعة مفاتيح الجهد المتوسط وملحقاتها Medium voltage switchgear
0.09 - 0.30	مفاعلات الحد من التيار (0.5 : 15 kv) limiting reactors --Current
0.4 - 1.90	المحولات (Transformers)
0.003 - 0.025	مفاتيح الفصل على حمل Load break switches
0.02 - 0.15	مبدءات الحركة للجهد المتوسط Medium voltage starters
0.05 - 0.50	مسار قضبان (≤ 480v) Bus way (≤ 480v)
0.13 - 0.34	مجموعة مفاتيح الجهد المنخفض وملحقاتها Low voltage switchgear
0.01 - 0.4	مراكز التحكم فى المحركات Motor control centers
1.0 - 4.00	الكابلات Cables
14.0 - 35.0	المحركات (Motors) 1-10 HP
6.0 - 12.0	1-200 HP
4.0 - 7.0	200-1500 HP
2.3 - 4.0	1500 HP
3.0 - 9.0	الموحدات الكبيرة Rectifiers (large)
4.0 - 15.0	مديرات السرعة المتغيرة الإستاتيكيه Static variable speed drive
0.5 - 2.0	المكثفات Capacitors (Watt loss / VAR)
3.0 - 9.0	الإضاءة Lighting (Lm / w)

Source : Ref [1]



شكل (5 - 1) اوضاع المفقودات بالشبكات الكهربائية

جدول (1-3) عناصر الفحص التمهيدى لمستويات فقد نظم القدرة وتقييم كل عنصر

مسلسل	الفحص التمهيدى / التقييم	جيد (good)	مقبول (fair)	متجاوز الحد (excessive)
1	فقد الطلب لكل النظام عند الذروة Demand loss for entire system at peak	< 10%	10% : 15%	> 15%
2	معامل قدرة النظام System power factor	95 % : 100%	90% : 95%	< 90%
3	معاوقة محولات القدرة Impedance of power transformers	≤ 6%	6% : 10%	> 10%
4	• مراقبة أحمال محولات التوزيع Monitoring the loading of distribution Trs	سنوى	أحيانا	لايتم
	• أقصى تحميل لمحولات التوزيع Maximum loading on distribution Trs	تبعا للوحة بيان المحول	حتى 125% من بيان المحول	> 125%
5	تحميل الموصلات الابتدائية Primary conductor loading	أقل من المقنن	أقل من المقنن	40%
6	أقصى طول للشبكة الثانوية Secondary system maximum length بالمدينة urban areas	1/4 Km	1/2 Km	>1/2 Km
	بالريف rural areas	1/2 Km	3/4 Km	>3/4 Km
7	المواصفات والمعيار Standards and specifications	ينظر الى الملاحظات الملحقة بالجدول		

Source : Ref. [2]

ملاحظات على جدول (3 -1) :

(1) لتخفيض الفقد يجب اتباع الخطوات التالية

- يجب ان يكون معامل القدرة المحسن على الاقل 95% وذلك بتركيب مكثفات على الخطوط الابتدائية (مع مراعاة الحدود القياسية للتوافقيات)
- استبدال المحولات ذات المعاوقة العالية
- إدارة أحمال محولات التوزيع
- تخفيض تحميل الخطوط الابتدائية
- تخفيض تحميل الخطوط الثانوية
- تخفيض تحميل خطوط النقل

(2) تحسين معامل القدرة بتركيب مكثفات على شبكة التوزيع الابتدائي بالقرب من مركز الاحمال إن أمكن..

- بتركيب مكثفات ثابتة لتعويض احتياج الحمل من القدرة غير الفعالة خلال فترة عدم الذروة (off - peak period)
- بتركيب مكثفات مرحلية (steped) لتحسين معامل القدرة خلال فترة ذروة الحمل (peak - period)

(3) يجب مراقبة وتسجيل أحمال محولات التوزيع دوريا وذلك بأحد الاقتراحات التالية

- بتوعية المستهلكين ومتابعة استهلاكات الطاقة
- بتركيب اميترات أقصى حمل
- باستخدام بنز أمبير (clamp - on) للقياس وقت الذروة
- استخدام أجهزة نقالة لقياس المتغيرات الكهربائية (الجهد – التيار – القدرة – معامل القدرة....) لمدة 24 ساعة..

(4) يمكن تخفيض تحميل الموصلات عن طريق :

- تحويل بعض الأحمال على مغذيات أخرى
- استبدال بعض الموصلات
- إضافة مغذيات جديدة لتوزيع الأحمال
- رفع جهود النظام الابتدائي، مثلا استخدام الجهد 22 kv بدلا من 11 kv

مفقودات القدرة ببعض البلدان الأوربية

يوضـــح جدول (4 -1) تطور مفقودات القدرة فى عام 1980 وفى عام 1987 ببعض البلدان الأوربية ..

ويلاحظ فى هذا الجدول أن :-

- أقل المفقودات بشبكة ألمانيا
- أعلى المفقودات بشبكة بولندا
- فى بعض البلدان انخفضت نسبة الفقد وفى بعضها زادت نسبة الفقد
- تحسنت المفقودات ، خلال هذه الفترة ، فى ألمانيا من 4.10% الى 3%

ويبين جدول (5 -1) مفقودات الطاقة الفعلية والمتوقعة بدول الاتحاد الأوربي

ويوضح شكل (6 -1) تطور مفقودات النظم الكهربائية ببعض الدول الأوربية

كذلـــك يبيـــن جـــدول (6-1) مفقودات شبكات النقل والتوزيع فى بعض البلدان والمدن العالمية .

مؤشرات مفقودات القدرة والطاقة فى مكونات الشبكات الكهربائية

نشـــر قســـم الطاقـــة بالبـــنك العالمي(World Bank Energy Department) مؤشـــرات مفقودات القدرة والطاقة فى مكونات الشبكات الكهربائية والموضحة بجدول (7- 1)

جدول(4-1) مفقودات القدرة ببعض البلدان الاوربيه

1987		1980		البلد
كنسبه من القدرة الدائرية %from circulated power	كنسبه من المصادر الكلية %from total sources	كنسبه من القدرة الدائرية %from circulated power	كنسبه من المصادر الكلية %from total source	
5.37	5.24	5.98	5.82	النمسا
4.94	4.69	4.74	4.52	بلجيكا
غير متاح	9.04	9.89	8.74	بلغاريا
6.45	6.05	7.26	6.61	تشيكوسلوفاكيا
7.19	6.49	7.16	6.46	شرق ألمانيا
6.65	6.33	6.47	6.57	فرنسا
7.95	7.34	7.41	6.98	اليونان
10.09	9.48	8.41	7.92	المجر
غير متاح	غير متاح	8.95	8.48	إيطاليا
10.56	9.89	10.38	9.68	بولندا
غير متاح	غير متاح	10.95	10.61	البرتغال
6.33	5.77	6. 83	5.69	رومانيا
9.31	8.88	9.27	8.83	أسبانيا
7.83	7.60	8.40	8.30	السويد
7.84	7.35	8.08	7.56	إنجلترا
3.20	3.00	4.34	4.10	غرب ألمانيا
9.46	8.91	9.80	9.34%	يوغسلافيا

Source : Electric power international , Sep . 1992

جدول (5-1) مفقودات نظم القوى بدول الاتحاد الأوربى ٠

1980 :2010 (نسبه من Twh)

البلد	الفعلي				المتوقع		
	1980	1990	1995	1996	2000	2005	2010
النمسا	7.16	6.4	6.47	6.31	6.01	5.80	5.65
بلجيكا	5.66	5.43	5.03	5.05	5.05	5.06	5.08
ألمانيا	3.99	4.10	4.26	4.00	4.10	3.95	3.84
الدانمارك	8.79	7.14	6.53	6.90	6.42	6.52	6.63
أسبانيا	9.71	9.42	8.41	8.34	9.30	9.12	9.40
فنلندا	5.76	4.65	4.35	4.28	3.97	3.86	3.69
فرنسا	6.92	7.61	7.40	7.47	7.43	7.52	7.36
اليونان	7.31	8.92	8.25	8.15	8.26	8.49	8.52
ايرلندا	11.58	9.23	9.15	9.66	9.22	9.33	9.35
إيطاليا	8.86	6.98	6.74	6.43	6.99	7.0	7.0
لكسمبرج	2.7	2.27	1.96	1.96	1.79	1.69	1.59
هولندا	4.19	3.97	3.91	3.85	3.46	3.43	3.37
البرتغال	11.76	12.75	11.26	11.33	10.96	10.98	10.41
السويد	8.71	6.65	7.09	7.08	5.22	5.14	5.06
إنجلترا	8.16	8.05	8.62	8.61	8.73	8.73	8.50
المتوسط لدول أوربا	6.92	6.66	6.57	6.5	6.54	6.56	6.23

Source : [6]



شكل (6-1) مفقودات النظام بالمرافق الأوربيه (نسبه من الطاقه)

جدول (6-1) مفقودات شبكات النقل والتوزيع فى بعض البلدان والمدن العالمية .

البلد	مفقودات النقل والتوزيع(%)	البلد	مفقودات النقل والتوزيع(%)
اليابان (Japan)	4.0	سويسرا (Switzerland)	6.0
الدانمارك (Denmark)	4.0	السويد (Sweden)	6.4
المانيا (Germany)	4.0	الولايات المتحده (United State)	7.0
غانا (Ghana)	4.0	إنجلترا (United Kingdom)	7.0
سنغافورة (Singapora)	4.0	تايوان (Taiwan)	7.0
جوام (المحيط الهادى) (Guam)	4.5	ايطاليا (Italy)	7.4
مكاو (جنوب الصين) (تحت السيطرة البرتغالية) (Macau)	4.81	لندن (London)	8.3
كوريا (Korea)	5.4	ماليزيا (Malaysia)	10.0
فرنسا (France)	5.9	تايلاند (Thailand)	10.3
استراليا (Australia)	6.0	جزر فيجى (المحيط الهادى) (Fiji)	10.52
كندا (Canada)	6.0	اندونسيا (Indonesia)	12.0
الصين (China)	6.0	المكسيك (Mexico)	14.0
جنوب افريقيا (South Africa)	6.0	هونج كونج (Hong Kong)	15.0

Source : World Development Report 1997 , and London Electricity of UK

جدول (1-7) مؤشرات مفقودات القدرة والطاقة فى مكونات الشبكات الكهربائية ٠

مكونات الشبكات الكهربائية	فقد القدرة Demand losses				فقد الطاقة Energy losses			
	الهدف Target level %		الاقصى المسموح Maximum to be tolerated %		الهدف Target level %		الاقصى المسموح Maximum to be tolerated %	
محطات وخطوط الجهد الفائق EHV Transmission & stations	0.5	4%	1.0	8%	0.33	2.6%	0.66	5.4%
محطات وخطوط الجهد العالى HV Transmission & stations	1.25		2.50		0.83		1.66	
الخطوط الفرعية Subtransmission	2.0		4.0		1.30		2.7	
المحطات الفرعية Substations	0.25		0.5		0.18		0.36	
توزيع الجهد المتوسط MV Distribution	3.0	4%	5.0	7%	2.0	2.6%	3.3	4.6%
محولات التوزيع وتوزيعات الجهد المنخفض Distribution transformers & L.V Distribution	1.0		2.0		0.6		1.32	

Source: [2]

تخفيض المفقودات الكهربائية

(1) يمكن تحسين وتخفيض المفقودات بالمولدات عن طريق

- تحسين الكفاءة الكلية للمحطة
- استخدام التكنولوجيات الحديثة مثل المحطات الحرارية ذات الدورة المركبة **(combined cycle)**
- تغيير الغلايات **(boilers)** القديمة
- رفع مقنن **(up rating)** المولدات الحرارية القديمة
- استخدام التصميمات ذات الكفاءة العالية فى الإنشاءات الهيدروليكية الجديدة
- استبدال التوربينات **(turbines)** القديمة

(2) لتحسين وتخفيض مفقودات خطوط النقل:

- تركيب مكثفات القدرة
- نقل القدرة على الجهود الأعلى

(3) لتحسين وتخفيض المفقودات بشبكات التوزيع

- تركيب مكثفات القدرة
- مراجعة مقاطع ومقاسات الموصلات
- تقليل استخدام النظام الحلقى(**ring system**) بقدر الإمكان
- استخدام الأطوال المناسبة للكابلات
- التحميل المثالي للمحولات والكابلات
- المراقبة والقياس المستمر لعاملات الحمل **(load factors)** وعاملات الفقد **(loss factors)**

الباب الثانى

تعريفات الفقد

فى هذا الباب سنتعرض لعدد من التعريفات الخاصة بالفقد والتى نشرت بالمواصفات القياسيه أو بالكتب العلميه :

1) Electric system loss :
Total electric energy losses in the electric system . It consists of transmission , transformer , and distribution losses between the supply and receiving points (IEEE 100 - Dec. 2000) .

فقد النظم الكهربائيه

طبقا للمواصفات القياسيه العالميه IEEE 100 فأن مفقودات النظم الكهربائيه :

هى المفقودات الكلية للطاقة الكهربائيه فى النظم الكهربائيه ، تتكون هذه المفقودات من مفقودات شبكات النقل والمحولات والتوزيع بين نقطتى الامداد والاستقبال للكهرباء

---

2) Energy losses : A general term applied to the energy that is converted to a form that can not be effectively used (lost) during the operation of an energy producing, conducting , or consuming system .

مفقودات الطاقه :

هو تعبير عام يستخدم للطاقة التى تتحول الى شكل لايستخدم بفاعلية خلال عمليات انتاج الطاقة والنقل والاستهلاك بالنظام ،

---

3) Energy loss : The difference between energy input and output as a result of transfer of energy between two points (IEEE - 100)

فقد الطاقه :

هو الفرق بين طاقه المدخل والمخرج كنتيجه لتحويل الطاقه بين نقطتين ،

---

4) **The energy loss : is the time integration of demand losses in successive time interval.**

فقد الطاقه :

هو تكامل مفقودات القدرة بالنسبة للزمن لفترات زمنيه متعاقبة

---

5) **Percent energy loss : is simply a ratio of power consumed internally in equipment to the total energy input .**

نسبه فقد الطاقه :

هى النسبه بين القدرة المستهلكه بالمعدات وطاقة المدخل الكليه ٠

---

6) **Demand losses (power losses) :**

Demand losses are the summation of the product of square of the load current in each circuit element of the distribution system , at the instant of the system maximun demand , multiplied by the resistance of the circuit element in which it is flowing .

مفقودات القدرة :

هى مجموع حاصل ضرب مربعـات التيـار فى كل مكون فى نظـام التوزيع عند لحظة حدوث أقصى طلب للنظام ، مضروبا فى المقاومه المار بها التيار لكل مكون ٠

---

7) **Technical losses :** **are standard operating losses due to physical mechanisms inherent in the design of the distribution circuits. This includes , for example , line heating and leakage current due to improper grounding of equipment. Circuits that are out of balance or have significant phase angles will also show technical losses .**

المفقودات الفنية :

تعرف المفقودات الفنيه بأنها مفقودات التشغيل القياسيه الراجعه الى تلازم آليه طبيعه تصميم دوائر التوزيع . يشمل هذا ، على سبيل المثـــال ، سخونة الخطـــوط وتيارات التسريب نتيجـــة الارضى غير المناسب للاجهزه . ايضـــا فأن الدوائر غير المتزنه أو التى لها زوايا أطوار مختلفة تعتبر مفقودات فنيه .

---

8) **Non -Technical losses :** **are all the remaining types of losses , such as losses due to power theft .**

المفقودات غير الفنية :

هى جميع الانواع الباقية للمفقودات مثل المفقودات نتيجة سرقات الكهرباء .

---

9)Load losses : (power and distribution transformers)

Those losses which are incident to the carrying of a specified load . load losses include I^2R loss in the windings due to load and eddy currents , stray loss due to leakage fluxes in the windings, core clamps, and other parts, and the loss due to circulating currents (if any) in parallel windings , or in parallel winding stands (IEEE 100 - Dec 2000) .

مفقودات الحمل :

طبقا للمواصفات القياسيه العالميه IEEE-100 فأنها مفقـودات خاصة بمحـولات التوزيع ومحولات القدرة . هذه المفقودات تحمل خصائص الحمل .

تشمـل مفقـودات الحمل فقد I^2R بالملفات نتيجه تيارات الحمل والتيارات الدواميه ، وفقد التيارات الاعصاريه نتيـجة تسـرب الفيض من الملفات ، ومن وسائل تثبيت القلب ، ومن الاجزاء الاخرى .

وايضـا مفقـودات راجعه الى التيـارات الدائريه(ان وجدت) بالملفات المتوازيه أو بحاملات الملفات المتوازيه .

---

10)Load losses :

Losses that are caused primarily by the resistance of the winding conductors to the current that flows through them . These losses can be reduced by lowering the resistance of the windings and by lowering the temperature rise of the transformer .

مفقودات الحمل :

هى المفقودات التى تحدث اساسا من مقاومة موصلات الملفات للتيار المار خلالها . يمكن تخفيض هذه المفقودات بتخفيض مقاومة الملفات وبتخفيض الزيادة فى درجه حرارة المحول .

---

11) Load losses :

Which arise from the resistance of the windings, when the transformer is in use, and from the eddy currents which flow both in the windings and the transformer housing due to stray flux . Sometimes referred to a copper losses, or short circuit losses, as they are measured by shorting the windings .

مفقودات الحمل :

تحدث هذه المفقودات من مقاومة الملفات عند تشغيل المحول ، ومن التيارات الدواميه والتى تمر فى كل من الملفات وجسم المحول نتيجة الفيض الشارد ٠
احيانا تعرف هذه المفقودات بمفقودات النحاس أو مفقودات دائرة القصر ٠ والتى تقاس عند عمل قصر للملفات ٠

---

12) No- load lo-sses :

Those losses that are incident to the excitation of the regulator . No load losses include core loss, dielectric loss, conductor loss in the winding due to exciting current, and conductor loss due to circuitlating current in parallel windings . These losses change with the excitation voltage . (IEEE-100) .

مفقودات اللاحمل :

هذه المفقودات تتوقف على استثارة المنظم ٠تشتمل مفقودات اللاحمل على :
فقد القلب ، فقد العزل ، فقد الموصل بالملفات الراجع الى تيار الاثاره ، وفقد الموصل نتيجة التيار الدائرى فى ملفات التوازى ٠ تتغير هذه المفقودات مع تغير جهد الاثاره٠ (وذلك طبقا للمواصفات القياسية IEEE - 100)

---

13) Core Loss :

Losses that are mainly caused by the resistance of the iron core to the magnetic flux magnetizing it . These losses can be reduced by lowering the flux density , using higher - grade steel and careful assembly procedures .

فقد القلب :

هى المفقودات التى تحدث أساسا من مقاومة القلب الحديدى للفيض المغناطيسى الممغنط للقلب . يمكن تخفيض هذه المفقودات بتخفيض كثافة الفيض وباستخدام صلب أعلى جودة وأن يتم تجميع مكونات القلب بعنايه .

---

14) No - Load losses or Iron losses :

Which result from energising the iron core . These are incurred whenever the transformer is coupled to the nerwork, even if no power is being drawn .

مفقودات اللاحمل أو مفقودات الحديد :

هى المفقودات الناتجه من امداد القلب الحديد بالطاقة . ويحدث هذا عند ربط المحول بالشبكة ، حتى ولو لم تسحب قدره من المحول .

---

15) **Eddy current losses** : **are losses caused by the current induced in the iron by the alternating magnetic field . As the magnetic flux changes with the alternaring current in the coil , a current is induced in the iron that flows at right angles or cross - sectionally to the magnetic flux .**

مفقودات التيارات الدواميه :

هى مفقودات التيار الحادث بالحديد نتيجه مجال مغناطيس متردد ٠ ويتغير الفيض المغناطيسى مع تغير التيار المتردد فى الملف ٠

يحدث تيار فى الحديد والذى يمر فى اتجاه زوايا قائمة او على شكل مقطع مستعرض بالنسبة للفيض المغناطيسى ٠

---

16) **Stray Load loss** (**synchronous machines**) :

The losses due to eddy currents in copper and additional core losses in the iron, produced by distortion of the magnetic flux by the lood current, and including that portion the core loss associated with the resistance drop (IEEE 100) .

فقد الحمل الشارد :

طبقا للمواصفات القياسـيه العالمـيه (IEEE . 100) فأن فقـد الحمل الشارد (للآلات المتزامنه) يرجع الى التيارات الدواميه فى النحاس ومفقودات القلب الاضافيه فى الحديد ، والتى تنتج من تشوه الفيض المغناطيسى بتيار الحمل ، وتحتوى على جزء من فقد القلب الملازم لهبوط المقاومه ٠

---

17) Stray loss :

Can be define as the loss due to stray electromagnetic flux in the windings , core clamps, magnetic shields, enclosure or tank walls (IEEE C 57.110-1986)

المفقودات الشارده :

هى مفقودات تعرف بأنها فقد راجع الى الفيض الكهرومغناطيسى الشارد فى كل من الملفات والقلب ، ومثبتات القلب ، وتسليح القلب المغناطيسى ، وحوائط الخزان أو الخليه . (وذلك طبقا للمواصفات القياسيه العالميه IEEE C 57) .

---

18) Hysteresis loss (power and distribution transformers):

The energy loss in magnetic material that results from an alternating magnetic field as the elementary magnets within the material seek to align themselves with the reversing magnetic field (IEEE - 100) .

فقد التخلفيه (لمحولات التوزيع ومحولات القدره)

هى فقد الطاقه فى الماده المغناطيسيه والناتجه عن مجال مغناطيسى متغير مثل حالة المغناطيسيات الثابته التى تحاول ضبط نفسها عند عكس المجال المغناطيسى .
(وذلك طبقا للمواصفات القياسيه IEEE - 100)

---

19) Field I^2R loss :

The product of the measured resistance, in ohms, of the field winding , corrected to a specified temperature, and the square of the field current in ampers. (IEEE - 100) .

فقد I^2R للمجال :

هو حاصل ضرب المقاومه المقاسه ، بالاوم ، لملف المجال ، مصححا عند درجة حراره محدده ، ومربع تيار المجال بالامبير .

(وذلك طبقا للمواصفات القياسيه IEEE - 100)

---

20) Armature I^2R loss (Synchronous machine)

The sum of the I^2R losses in all armature current paths .
Note: The I^2R loss in each current path shall be the product of the resistance in ohms, as measured with direct current and corrected to a specified temperature , and the square of its current in amperes (IEEE - 100)

فقد I^2R للعضو المنتج (الآلات المتزامنه)

هى مجموع مفقودات I^2R لجميع مسارات التيار فى العضو المنتج .

ملاحظه : الفقد I^2R لكل مسار تيار هو حاصل ضرب المقاومه بالاوم والمقاسه بتيار مباشر ومصححة عند درجة حراره محدده ، ومربع التيار بالامبير .

(وذلك طبقا للمواصفات القياسيه IEEE - 100)

---

21) **Auxiliary losses : are losses caused by the use of cooling equipment such as fans and pumps to increase the loading capability of substation transfomers .**

المفقودات المساعده :

هى مفقودات تحدث عند استخدام معدات التبريد للمحولات مثل المراوح والمضخات بغرض زيادة سعويه التحميل بمحولات المحطات الفرعية ٠

---

22) **Utilization time for losses :**
The total duration time needed at maximum peak power consumption to give the same total energy losses as for the normal load duration curve .

زمن الاستعمال للفقد :

هو زمن الدوام الكلى اللازم عند أقصى ذروة حمل مستهلك للحصول على نفس مفقودات الطاقة الكلية لمنحنى دوام الحمل العادى ٠

الباب الثالث

تعريف المعاملات والعاملات

المستخدمه فى حسابات الفقد

1- الطلب (Demand)
يعرف طلب المنظومه (أو جزء منها) بأنه متوسط الحمل على المنظومه (أو جزء منها) خلال فترة زمنيه محددة ٠
وحدات الطلب : KVA أو KW أو A
ويفضل استخدام KVA حيث انها تتضمن التيار الفعلى بصرف النظر عن قيمة معامل القدرة ٠

---

2 – الفاصل الزمنى للطلب (Demand time)
هو الفترة الزمنيه التى يحسب خلالها القيمة المتوسطه للحمل كما هو واضح فى شكل (3-1)

---

3 – عامل التباين (Diversity)
هو النسبة بين مجموع الطلب الاقصى المنفرد لكل حمل من الاحمال والطلب الاقصى لمجموعة الاحمال ككل ٠ يكون عامل التباين مساويا او اكبر من الواحد الصحيح عندما يكون اقصى طلب لجميع الاحمال متزامن ٠
و يوضح شكل (3-2) هذا التعريف

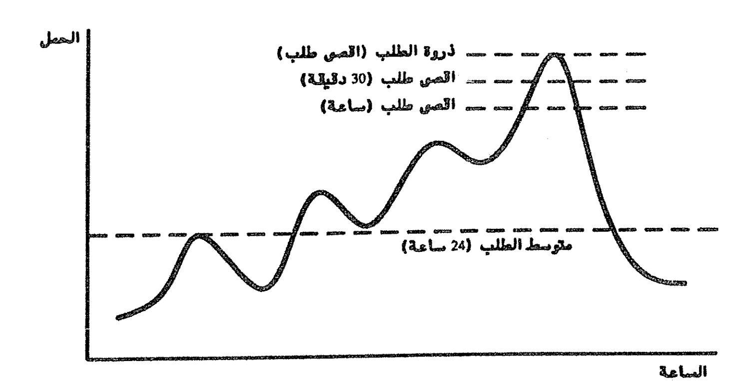
$$\text{عامل التباين} = \frac{D_1+D_2+D_3+ \ldots\ldots\ldots\ldots +D_n}{D_S}$$

---

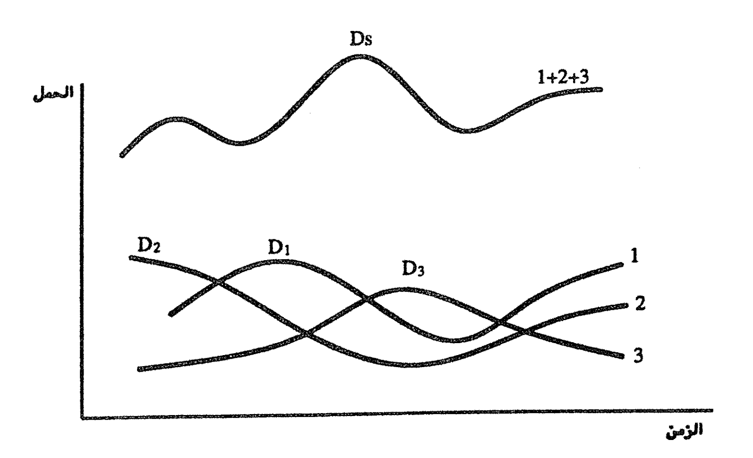
4 – الساعات المكافئه (Equivalent hours) or (running time)
هى عدد ساعات اقصى طلب والتى تتطلب نفس كمية الطاقه المطلوبه للطلب الفعلى خلال دوره زمنيه محدده ٠ ويمكن الحصول على الساعات المكافئه تبعا للمعادله التاليه:

$$\text{Equivalent hours} = \frac{\text{Total Energy (KWH)}}{\text{Peak demand (KW)}}$$

$$\text{الساعات المكافئه} = \frac{\text{الطاقة الكلية (KWH)}}{\text{أقصى طلب (KW)}}$$


الحمل
ذروة الطلب (اقصى طلب)
اقصى طلب (30 دقيقة)
اقصى طلب (ساعة)
متوسط الطلب (24 ساعة)
الساعة

شكل (1 - 3)


Ds
1+2+3
الحمل
D2
D1
D3
1
2
3
الزمن

شكل (2 - 3)

5 – الساعات المكافئة للفقد (Loss time) or (Loss equivalent hours)

$$\text{Loss equivalent hours} = \frac{(\text{Hourly demand})^2}{(\text{Peak demand})^2}$$

$$\text{الساعات المكافئة للفقد} = \frac{(\text{الطلب كل ساعة})^2}{(\text{أقصى طلب})^2}$$

---

6 – متوسط الطلب (average demand)
هو الطلب الثابت لفتره زمنيه محدده والذى يتطلب نفس الطاقه المطلوبه للحمل الحقيقى خلال دوره زمنيه محدده ،
ويمكن الحصول على متوسط الطلب تبعا للمعادلة :

$$\text{Average Demand} = \frac{\text{Total Energy (KWH)}}{\text{Total hours}}$$

$$\text{متوسط الطلب} = \frac{\text{الطاقة الكلية (KWH)}}{\text{الساعات الكلية}}$$

---

7 – عامل الحمل LF (Load factor)
يعرف عامل الحمل بأنه النسبه بين متوسط الحمل (average load) وأقصى حمل خلال فتره زمنيه محدده ،،
ويحسب متوسط الحمل من قسمه كميه الطاقه بوحده KWH خلال فتره زمنيه على عدد ساعات الفتره الزمنيه أى أن :

$$\text{Average load} = \frac{\text{Energy during Period in KWH}}{\text{Hours during Period}}$$

ثم يحسب عامل الحمل كالاتى :

$$LF = \frac{\text{Average load in KW}}{\text{Peak Load in KW}} = \frac{\text{متوسط الحمل (KW)}}{\text{أقصى حمل (KW)}}$$

Or

$$LF = \frac{\text{Actual energy (KWH)}}{\text{Peak demand (KW) * Total hours}}$$

$$= \frac{\text{الطاقة الفعلية (KWH)}}{\text{(أقصى طلب KW) * (عدد الساعات الكلية)}}$$

غالبا ما نحتاج لحساب عامل الحمل السنوى لكل مكون فى الشبكه مثل المحولات والكابلات .. والذى يمكن حسابه كالاتى :

أ) يسجل منحنى الحمل اليومى لمدة 24 ساعه كما فى شكل (3-3) ثم يحسب منه عامل الحمل اليومى

LF_D = Daily Load Factor

$$= \frac{\sum_{n=1}^{24} \text{(hourly demand)}/24}{\text{(peak demand)}}$$

$$= \frac{(I_1 + I_2 + \ldots\ldots\ldots + I_{24})/24}{I'_P} = \frac{I_{av}}{I'_P}$$

ب) يسجل منحنى الحمل الاسبوعى (أقصى حمل يوميا) كما فى شكل (4-3) ثم يحسب منه عامل الحمل الاسبوعى

LF_w = Daily peak variation factor over the week

$$= \frac{\sum_{n=1}^{7} (\text{daily peak demand}) / 7}{(\text{peak of week})}$$

$$= \frac{(I_1 + I_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + I) / 7}{(I^{\backslash\backslash}{}_p)} = \frac{I_{av}}{I^{\backslash\backslash}{}_P}$$

جـ) يسجل منحنى الحمل الشهرى (أقصى حمل شهريا) كما فى شكل (5-3) ثم يحسب منه عامل الحمل الشهرى

LF_m = Monthly peak variation factor over the month

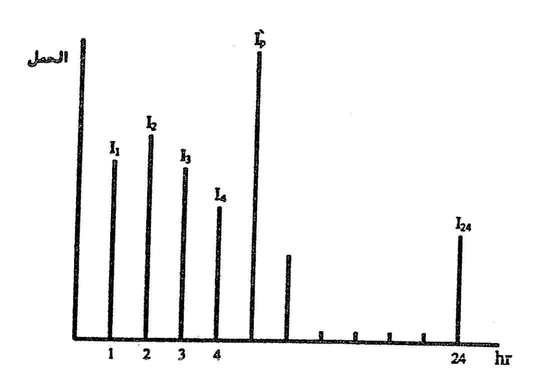
$$= \frac{(\sum_{n=1}^{12} \text{monthly peak demand}) / 12}{(\text{annual peak})}$$

$$= \frac{(I_1 + I_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + I) / 12}{(I^{\backslash\backslash\backslash}{}_P)} = \frac{I_{av}}{I^{\backslash\backslash\backslash}{}_P}$$

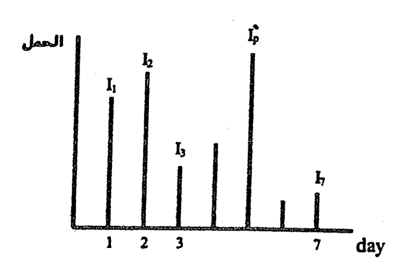
د) نحصل على عامل الحمل السنوى كالاتى :

$$LF_y = LF_d * LF_w * LF_m$$

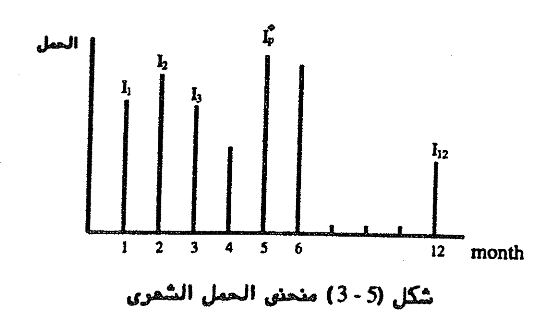
ويتم الحصول على منحنيات الاحمال اليوميه والاسبوعيه والشهريه من تسجيلات مراكز التحكم .



شكل (3 - 3) منحنى الحمل اليومى



شكل (4 - 3) منحنى الحمل الاسبوعى



شكل (5 - 3) منحنى الحمل الشهرى

8 – عامل الفقد LsF (Loss Factor)

يستخدم عامل الفقد لحساب فقد الطاقه اذا كان فقد القدرة معروف ويمكن حسابه بأكثر من طريقه منها :

أ) بمعرفه منحنى فقد الطاقه (energy loss curve) نحصل على LsF من المعادله:

$$LsF = \frac{\text{KWH of loss during a specific period}}{\text{(hours in time period) (Peak KW loss)}}$$

$$= \frac{\text{فقد الطاقة (KWH) خلال فترة زمنية محددة}}{\text{(الفترة الزمنية بالساعة) (أقصى فقد KW)}}$$

ب)

$$LsF = \frac{\text{Square of all actual demands}}{\text{Square of peak demand on 100\% of the time}}$$

$$LsF\ \% = \frac{\sum_{n} (\text{hourly demand})^2}{n(\text{Peak demand})^2} * 100$$

$$= \frac{\text{مجموع (الطلب لقراءات كل ساعة)}^2}{\text{(عدد القراءات) (أقصى طلب)}^2}$$

يتم حساب عامل الفقد لكل مكون فى الشبكه ٠٠ ويمكن حسابه كالاتى :

* يسجل منحنى الحمل اليومى لمدة 24 ساعه كما فى شكل (3-3) ثم يحسب عامل الفقد اليومى كالاتى :

$Ls\,F_d$ = daily loss factor

$$= \frac{\sum_{n=1}^{24} (\text{hourly demand})^2}{24\,(\text{peak demand})^2}$$

$$= \frac{I_1^2 + I_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + I_{24}^2}{24(I'_p)^2}$$

* يسجل منحنى الحمل الاسبوعى (أقصى حمل يوميا) كما فى شكل (3-4) ثم يحسب عامل الفقد الاسبوعى :

$L\,sF_w$ = (daily peak)^2 variation factor over the week

$$L\,sF_w = \frac{\sum_{n=1}^{7} (\text{daily peak demand})^2}{7\,(\text{peak of week})^2}$$

$$= \frac{I_1^2 + I_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + I_7^2}{7(I''_p)^2}$$

* يسجل منحنى الحمل الشهرى (أقصى حمل شهريا) كما فى شكل (3-5) ثم يحسب عامل الفقد الشهرى

LsF_m = (monthly peak)^2 variation factor over the month

$$= \frac{\sum_{n=1}^{12}(\text{monthly peak demand})^2}{12\,(\text{peak of month})^2}$$

$$= \frac{I_1^2+I_2^2+\ldots\ldots\ldots\ldots+I_{12}^2}{12\,(I'''_p)^2}$$

- نحصل على عامل الفقد السنوى كالاتى :

$LsF_y = L\,sF_d * L\,sF_w * L\,sF_m$

ويتم الحصول على منحنيات الاحمال اليوميه والاسبوعيه والشهريه والمستخدمه ايضا لحساب عامل الحمل السنوى من تسجيلات مراكز التحكم .

يلاحظ أن الطريقه المذكوره لحساب عامل الفقد طويله الى حد ما وتحتاج الى كميه كبيره من المتغيرات الكهربائيه (طلب الطاقه أو الحمل) وعلى ذلك يمكن استخدام العلاقات الرياضيه التجريبيه (empirical) والتى منها يحسب عامل الفقد اذا كان عامل الحمل معروفا . .وفيما يلى هذه العلاقات والتى يمكن استخدام اى منها لحساب عامل الفقد :

1) $LsF = 0.2 * LF + 0.8 * LF^2$

2) $LsF = 0.111 * LF + 0.894 * LF^2$

3) $LsF = 0.3 * LF + 0.7 * LF^2$

4) $LsF = 0.15 * LF + 0.85 * LF^2$

5) $LsF = (LF)^{1.6}$

6) $LsF = (LF)^{1.67}$

7) $\text{Log}(LsF) = 0.05821 + 1.53348\ \text{Log}(LF) - 0.10183\ \text{Log}(S\%)$

هذه العلاقه أخذت فى الاعتبار تأثير تكيفات الهواء المركزيه ..
حيث تمثل S% نسبه المشتركين المستخدمين لتكيفات الهواء المركزيه .

8) $LsF = (Hf)^2$

$Hf = (LF)^{0.83}$

حيث Hf = Heating factor

= عامل الحراره

مثال (١)

يوضح جدول (3-1) الاحمال لمدة 24 ساعه ، قراءه كل ساعه باجمالى 371 KWH
وسجلت هذه القيم فى شكل (3-6) أحسب كل من :
متوسط الطلب ، الساعات المكافئه ، عامل الحمل

الحل :

$$\text{متوسط الطلب} = \text{average demand} = \frac{\text{Total Energy (KWH)}}{\text{Total hours}}$$

$$= \frac{371 \text{ KWH}}{24 \text{ hr}} = 15.46 \text{ KW}$$

$$\text{الساعات المكافئة} = \text{Equivalent hours} = \frac{\text{Total Energy (KWH)}}{\text{Peak demand (KW)}}$$

$$= \frac{371 \text{ KWH}}{30 \text{ KW}} = 12.37 \text{ hr}$$

$$\text{عامل الحمل} = \frac{\text{Average demand (KW)}}{\text{Peak demand (KW)}} * 100$$

$$= \frac{15.46 \text{ KW}}{30.0 \text{ KW}} * 100 = 51.5\%$$

كذلك يمكن حساب عامل الحمل كالآتى :

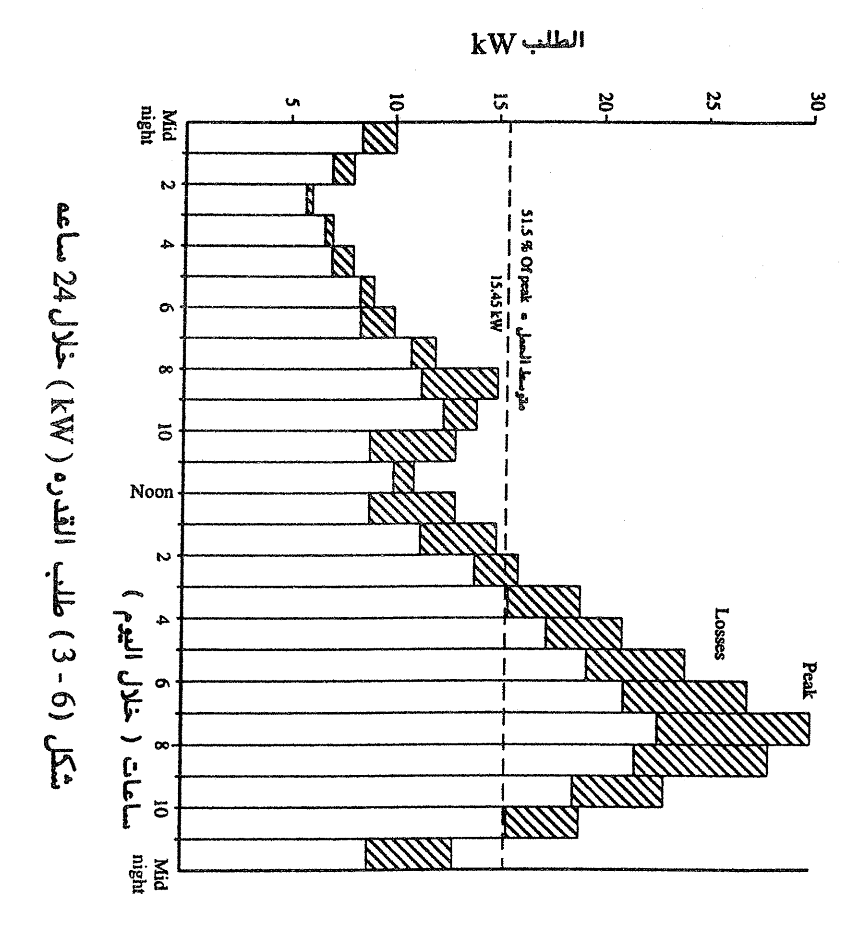
$$\text{عامل الحمل} = \frac{\text{Actual energy (KWH)}}{\text{Peak demand(KW)} * \text{Total hours}} * 100$$

$$= \frac{371 \text{ KWH}}{30 \text{ KW} * 24 \text{ hr}} = 51.5\%$$

جدول (1-3) بروفيل القدرة لمدة 24 ساعة

الطلب (KW)	الساعة		الطلب (KW)	الساعة	
بعد الظهر / مساءا			صباحا		
13	1:00 PM	12:00 PM	10	1:00 AM	12:00 AM
15	2:00 PM	1:00 PM	8	2:00 AM	1:00 AM
16	3:00 PM	2:00 PM	6	3:00 AM	2:00 AM
19	4:00 PM	3:00 PM	7	4:00 AM	3:00 AM
21	5:00 PM	4:00 PM	8	5:00 AM	4:00 AM
24	6:00 PM	5:00 PM	9	6:00 AM	5:00 AM
27	7:00 PM	6:00 PM	10	7:00 AM	6:00 AM
30	8:00 PM	7:00 PM	12	8:00 AM	7:00 AM
28	9:00 PM	8:00 PM	15	9:00 AM	8:00 AM
23	10:00 PM	9:00 PM	14	10:00 AM	9:00 AM
19	11:00 PM	10:00 PM	13	11:00 AM	10:00 AM
13	12:00 AM	11:00 PM	11	12:00 PM	11:00 AM

Σ 371 kwh



شكل (6- 3) طلب القدره (kW) خلال 24 ساعه

9 – دوام الحمل (Load duration)

هوعلاقه الطلب وبقاء (أو دوام) الطلب خلال دوره زمنيه محدده ولرسم هذه العلاقه يجب اتباع الخطوات التاليه :
ترتب قيم الطلب تنازليا (من الاكبر الى الاقل)
يحدد تكرار قيمة الطلب (والمقصود بالتكرار عدد ساعات الحدث لكل طلب)
يحسب تراكم التكرار
يحسب نسبه الطلب =

يحسب نسبه تراكم التكرار (بقسمه تراكم التكرار على مجموع ساعات فتره القياس)
مربع الطلب = (الطلب) ^{2} × التكرار

مثال (2)
ارسم منحنى دوام الحمل
لمثال رقم 1 واحسب الساعات المكافئه للفقد

الحل :
يوضح جدول (2-3) وشكل (7-3) منحنى دوام الحمل بعد اتباع الخطوات المذكوره اعلاه وارسم التغير فى مربع الطلب .

فى جدول (2-3) فى آخر عمود تم حساب مربع الطلب(من حاصل ضرب مربع الطلب فى التكرار) ثم تحسب الساعات المكافئه للفقد كالآتى .

$$\text{Loss equivalent hours} = \frac{(\text{Hourly demand})^2}{(\text{Peak demand})^2}$$

$$= \frac{6849\ \text{KW}^2.\text{Hr}}{900\ \text{Kw}^2}$$

$$= 7.61\ \text{hr.}$$

جدول (2-3) مراحل رسم منحنى دوام الحمل

Demand الطلب (kW)	التكرار	تراكم التكرار	نسبة الطلب منسوبة الى القيمة القصوى	نسبة تراكم التكرار	مربع الطلب	فقد الطلب (kW)
30	1	1	100%	4.2	900	7.3
28	1	2	93.30%	8.3	784	6.38
27	1	3	90%	12.5	729	5.93
24	1	4	80%	16.7	576	4.68
23	1	5	76.60%	20.8	529	4.3
21	1	6	70%	25	441	3.59
19	2	8	63.30%	33.3	722	3.43
16	1	9	53.30%	37.5	256	2.08
15	2	11	50%	45.8	450	3.66
14	1	12	46.70%	50	196	1.59
13	3	15	43.30%	62.5	507	4.12
12	1	16	40%	66.7	144	1.17
11	1	17	36.70%	70.8	121	0.98
10	2	19	33.30%	79.2	200	1.63
9	1	20	30%	83.3	81	0.66
8	2	22	26.70%	91.7	128	1.04
7	1	23	23.30%	95.8	49	0.39
6	1	24	20%	100	36	0.29
					6849	

ويوضح شكل (8-3) التغير فى مربع الطلب مع الزمن
بفرض أن فقد الطاقه الفنى يمثل 15% من الطاقه الكليه فأن

فقد الطاقه = energy loss = 0.15 * 371 = 55.7 KWH

يمكن تقسيم هذا التغير فى الطاقه على 24 hr بنسبه مربع الطلب (كما فى العمود السادس بجدول (2-3) ٠ ثم يحسب فقد أقصى طلب كالاتى :

فقد اقصى طلب = Peak hour loss = $\left(\frac{900}{6849}\right) * 55.7 = 7.3KW$

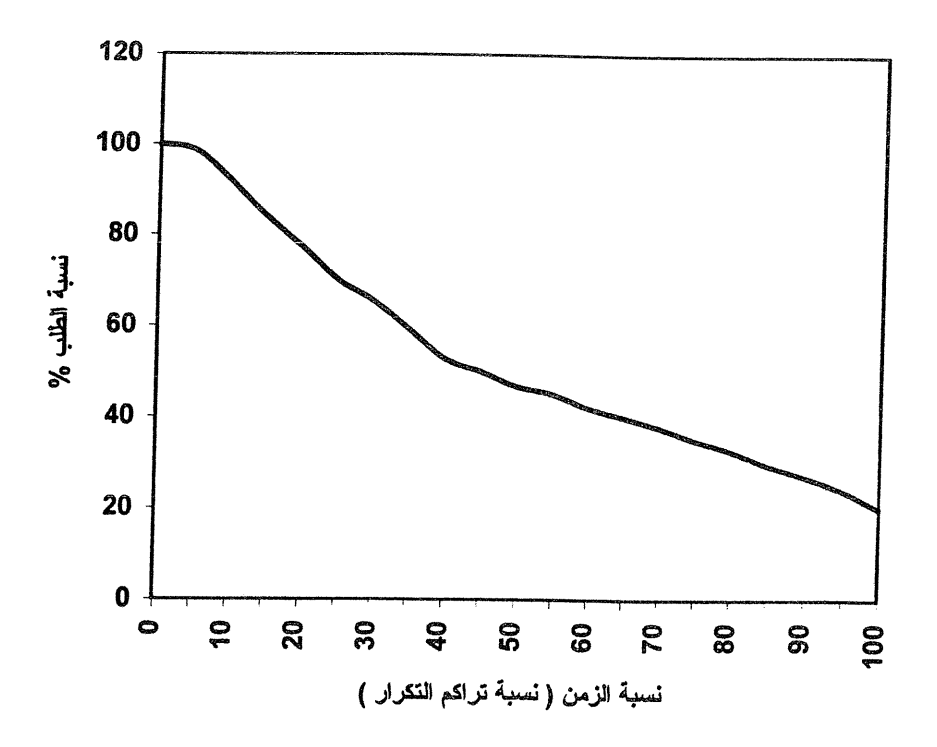
بنفس الطريقه يحسب فقد الطاقه المقابل لكل طلب وسجل فى العمود رقم (7) بالجدول (2-3) والجدول (3-3) ورسم هذا الفقد فى شكل (6-3) ٠

10 – معامل القدرة (Power Factor)
يعرف معامل القـــدرة بأنه النســبه بين القدرة الفعاله (active power) والقـدرة الظاهرية (apparent power) ، ولان احمال التوزيع تتغير بثبات ، فيجب ان يكون معامل القدرة متــلائم مع حالة الاحمـــال (مثل عند ذروة الحمل ، الاحمال الخفيفه ، والاحمال المتوسطه) ٠٠ وعاده يتراوح معـامل القــدره عند ذروة الحمل بين (0.8 : 0.95 pu) بينما المتوسط يكون 0.9 pu

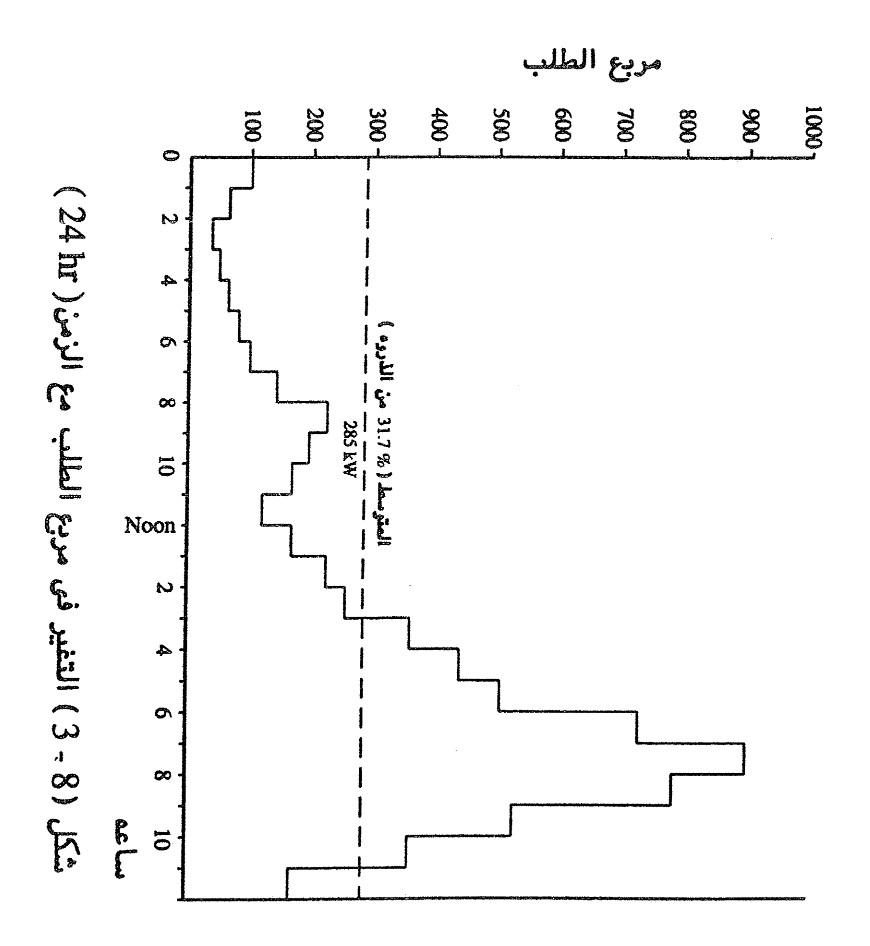
11- متوسط فقد الطاقه (Average energy loss)
هـو النســبه بين الطاقه المفقـوده (energy loss) والطاقه المتـولده (energy generated)

جدول (3-3) الطلب ومايقابله من فقد الطلب (مأخوذا من جدول (3-2))

الطلب (kW)	فقد الطلب (kW)	الطلب (kW)	فقد الطلب (kW)
10	1.63	13	4.12
8	1.04	15	3.66
6	0.29	16	2.08
7	0.39	19	3.43
8	1.04	21	3.59
9	0.66	24	4.68
10	1.63	27	5.93
12	1.17	30	7.3
15	3.66	28	6.38
14	1.59	23	4.3
13	4.12	19	3.43
11	0.98	13	4.12



شكل (7 - 3) منحنى الدوام لحمل اليوم المسجل فى شكل (6 - 3)



شكل (8 - 3) التغير فى مربع الطلب مع الزمن (24 hr)

مثال (3)

يوضح شكل (9-3) خصائص حملين B ، A واللذين يتصفان بالاتى :

يتصف الحمل A بالاتى :

- الحمل (demand) عند اى زمن اما 100% أو 0.0% من الحمل الكامل
- عامل الحمل يتغير من 0.0% الى 100%
- دائما عامل الفقد يساوى عامل الحمل ٠

يتصف الحمل B بالاتى :

- الحمل ثابت لمده 23 ساعه
- يتغير عامل الحمل من 4.17% وحتى 100%
- يتساوى عامل الفقد مع عامل الحمل عند البدايه والنهايه وبينهما يتغير كما فى شكل (3-10)

احسب عامل الفقد لمحول التوزيع والمغذى ٠٠

الحل :

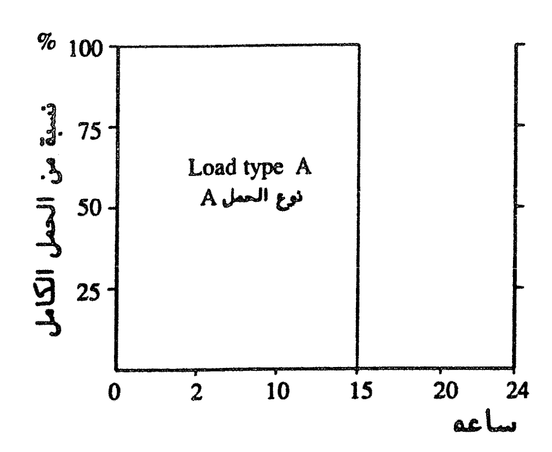
تبعا للمعادله التاليه يتم حساب عامل الفقد

$$LsF = 0.15 (LF) + 0.85(LF)^2$$

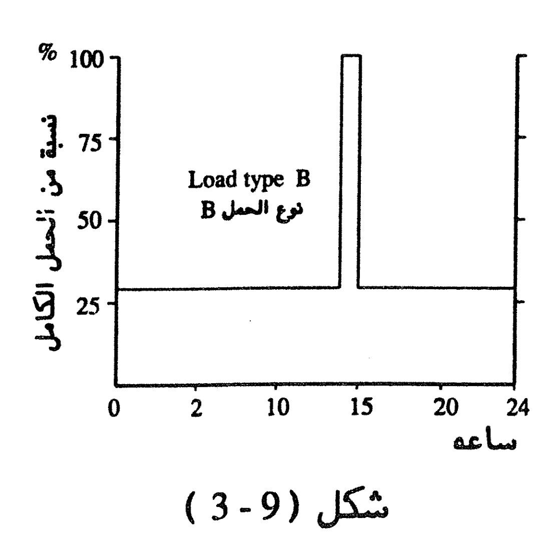
يوضح جدول (4-3) وشكل (11-3) حسابات عامل الفقد (LsF) ومنحنى العلاقه بين عامل الفقد وعامل الحمل ٠

جدول (4-3) العلاقة بين عامل الحمل و عامل الفقد

عامل الحمل %	عامل الفقد (%)		
	المغذى	المحول	نوع الحملB
0	4.2	4.2	4.2
5	4.2	4.2	4.2
10	6	4.7	4.5
20	10.1	8.1	6.8
25	13	10.1	8.7
30	16	13	11.1
35	19.6	16	14.1
40	23.2	19.4	17.6
45	27.8	23.8	21.6
50	32	28	26.1
55	37	33.1	31.1
60	42.8	38.2	36.7
65	48.8	44.7	42.8
70	55	51.5	49.4
75	62.6	59.1	56.5
80	70	66.5	64.2
85	77	75	72.3
90	85.5	83.9	81
95	90.5	90.4	90.3
100	100	100	100

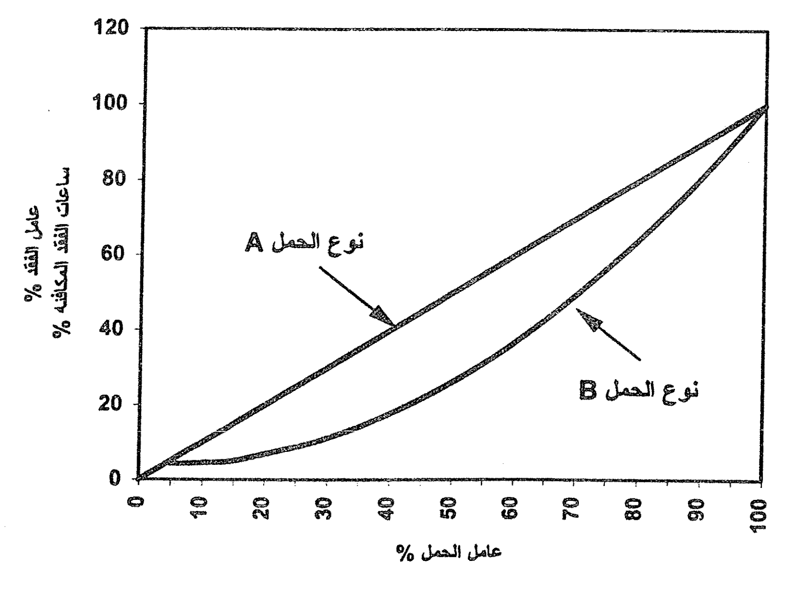


%
نسبة من الحمل الكامل
100
75
50
25
Load type A
A نوع الحمل
0
2
10
15
20
24
ساعه



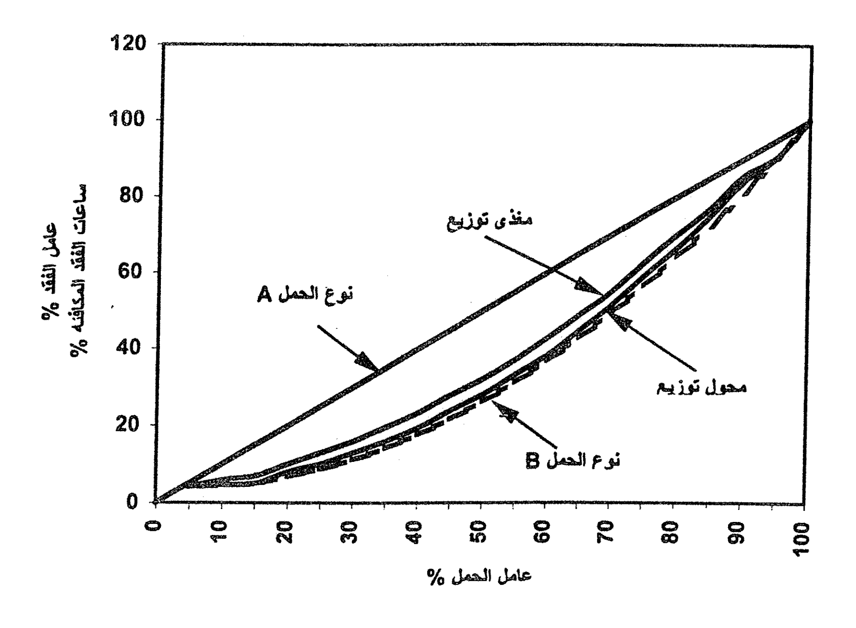
%
نسبة من الحمل الكامل
100
75
50
25
Load type B
B نوع الحمل
0
2
10
15
20
24
ساعه

شكل (9 - 3)





شكل (10 - 3)



شكل (11 - 3)

12 – مضروب فقد الطلب (Demand loss multiplier)
هو النسبه بين فقد الطلب عند فتره الذروه الى متوسط فقد الطلب

$$\text{Demand loss multiplier} = \frac{\text{demand loss at peak}}{\text{average demand loss}}$$

مثال (4)
يوضح جدول (5-3) قيم مختلفه لعامل الحمل وعامل الفقد ومضروب فقد الطلب
البيانات التاليه لنوع حمل :

Peak demand = 365 MW

Energy generated = 12789860 MWH

Energy loss = 217423 MWH

أحسب
(عامل الحمل – متوسط فقد الطاقه – فقد الطاقه عند فتره الذروه)

جدول (5-3)

عامل الحمل Load Factor %	عامل الفقد Loss Factor %	مضروب فقد الطلب Demand Loss multiplier
30	20.6	1.46
35	24.6	1.42
40	28.8	1.39
45	33.3	1.35
50	38.1	1.31
55	43.1	1.28
60	48.4	1.24

الحل:

$$\text{Load Factor} = \frac{1278960}{365 * 8760hr} * 100 = 40\%$$

$$\text{Average energy loss} = \frac{217423}{1278960} * 100 = 17\%$$

من جـــدول (5-3) نحصل على مضروب فقد الطاقه المقابل لعامل حمل 40% فنحصل على

Demand loss multiplier = 1. 39%

ثم نحسب فقد الطاقه عند فترة الذروه

Demand loss at peak = 17%*1.39 = 23.6%

13- عامل التطابق CF (Coincidence factor)
أو عامل التزامن Fs (Simultaneity factor)

هو النسبة بين أقصى طلب لمجموعة مستهلكين الى مجموع أقصى طلب لكل المستهلكين أى أن :

$$CF=\frac{D_S}{D_1+D_2+.................+D_N}$$

حيث D_N ٠٠٠٠ D_3 ، D_2 ، D_1 أقصى طلب للمستهلكين أرقام N ٠٠٠ , 2 , 1 على التوالى مع عدم أخذ الزمن فى الاعتبار ٠

D_S أقصى طلب لمجموعة المستهلكين أرقام N ٠٠٠ , 2 , 1 ٠

ويوضح شكل (12-3) هذه التعريفات

عادة يستخدم عامل التباين لمجموعة مستهلكين لهم نفس دورة الحمل ٠٠

يمكن أن يكون للمشتركين المنفصلين نفس دورة الحمل أو أقصى طلب ، ولكن لايمكن أن تصطف بالنسبة للزمن ٠

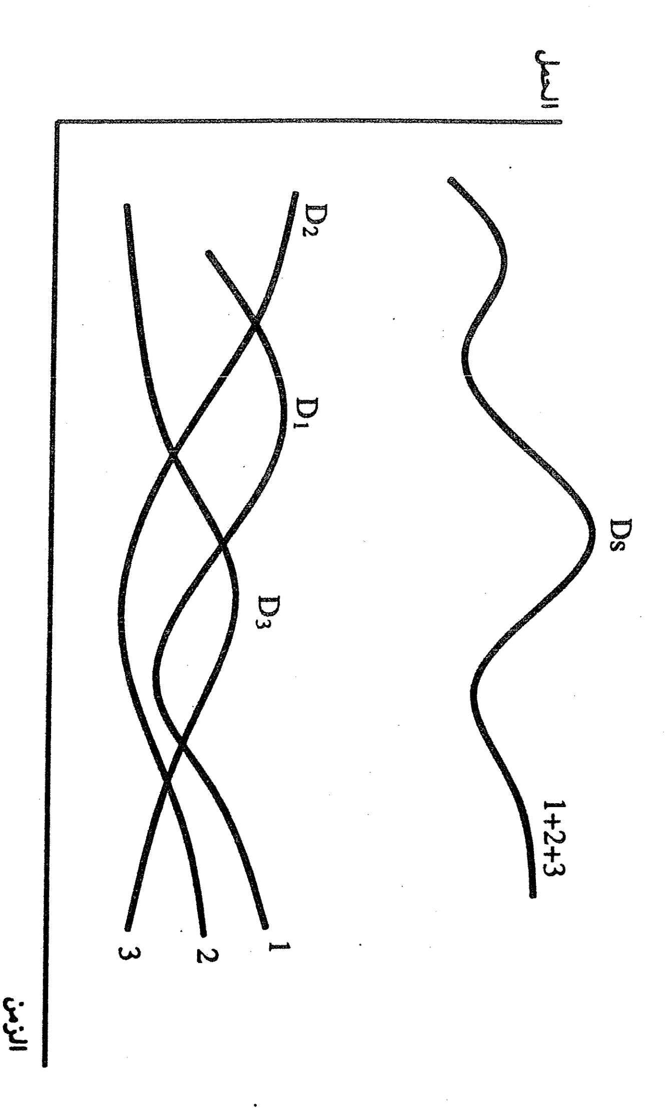
باستخدام أجهزة قياس المتغيرات الكهربائية المتنقلة يقاس منحنى الحمل لكل مشترك ولمجموعة المشتركين فى فترة زمنية محددة ٠٠

فى حالة عدم توافر منحنيات الحمل للمشتركين يمكن حساب عامل التطابق من المعادلة الاتية:

$$CF=0.5\left(1+\frac{5}{2N+3}\right)$$

حيث N تمثل عدد المشتركين

ويلاحظ أن عامل التطابق هو مقلوب عامل التباين (Diversity factor)



شكل (12 - 3)

ويلاحظ أن عامل التطابق (أو عامل التزامن) يكون بقيمه أقرب الى الوحده فى حالة مغذيات الجهود العالية والمتوسطة ، وذلك نتيجة أن الاحمال عند هذه الجهود تكون مستقرة تقريبا ٠

يوضح جدول (6-3) أمثله لقيم عامل التطابق عند مستويات جهود مختلفه

جدول (6-3) عامل التطابق (عامل التزامن) لمستويات الجهود المختلفة

مستوى الجهد (KV)	الموضع	عامل التطابق (عامل التزامن)
220	قضبان رئيسية	0.98
220	مغذى	0.98
66	قضبان رئيسية	0.95
66	مغذى	0.95
33	قضبان رئيسية	0.95
33	مغذى	0.95
11	قضبان رئيسية	0.95
11	مغذى	0.95
0.4	قضبان رئيسية	0.95
0.4	مغذى	0.6

Source : Ref [11]

14-زمن استعمال المفقودات τ_f (The Utilization time for losses)

يحسب زمن استعمال المفقودات تبعا للمعادلة التالية :-

$$\tau_f = 8760\left[0.13\frac{\tau_b}{8760} + 0.87\left(\frac{\tau_b}{8760}\right)^2\right] \qquad h/year$$

حيث

τ_b = utilization time for the load (hr)

= زمن الاستعمال للحمل (ساعة)

ويعرف عامل الاستعمال من المعادلة التالية :-

$$\varepsilon_f = \frac{\tau_f}{8760}$$

$$\varepsilon_b = \frac{\tau_b}{8760}$$

وتمثل المعادلة العملية التالية العلاقة بين ε_b & ε_f

$$\varepsilon_f = 0.13\,\varepsilon_b + 0.87\,\varepsilon_b^{\,2}$$

حيث

ε_b = utilization factor for the load

= عامل الاستعمال للحمل

ε_f = utilization factor for the Losses

= عامل الاستعمال للفقد

عند مستويات الجهود المنخفضه يمكن حساب عامل الاستعمال للحمل (ε'_b) وعامل الاستعمال للفقد (ε'_f) من المعادلات :

$$\varepsilon'_b = F'_s\,\varepsilon_b$$

$$\varepsilon'_f = 0.13\,\varepsilon'_b + 0.87\,\varepsilon'^{\,2}_b$$

حيث

ε'_b = utilization factor for the bulk load

= عامل الاستعمال للحمل الاجمالى

F'_s = simultaneity factor for the load

= عامل التزامن للحمل

15- عامل المسئولية الأقصى (Peak Responsibilty Factor)PRF

من المعروف أن مفقــودات اللاحمــل (no-load losses) موجودة بالنظام بصفة مستمرة ، فهى موجودة عند حالة ذروة النظام ، كما أنها موجودة عند جميع الازمنة الاخرى لدورة الحمل وعلية يجب العمل على مساعده أو مسانده مقدرة محطات التوليد والانشطه الاخرى لهذه القدرة الموجودة بصفه مستمره ٠٠

تتغير مفقودات الحمل (load losses) مع مستوى الحمل ٠ وعلى ذلك تحدث أقصى مفقودات الحمل عنــد أقصى حمــل (peak load) للمكــون ، والذى يمكن أن يحــدث (أو لا يحــدث) عند أقصى حمــل للنظام ٠ وهــذا يعنى أن مفقـــودات الحمــل لجــزء من المكونات المنفصــله سـيشارك أقصى طلــب للنظام ٠ يــؤدى اســتخدام عامل المسئولية الاقصى لمعادلة أو تعويض هذه الظاهرة ٠

و يعرف هذا العامل تبعا للمعادلة :

$$PRF=\frac{\text{Component load at time of system peak (KW)}}{\text{Component peak load (KW)}}$$

عامل المسئولية الأقصى = حمل المكون عند أقصى حمل للنظام (ك.و) / أقصى حمل للمكون (ك.و)

هذه المعادلة تستخدم لحساب عامل المسئولية الاقصى للنظام (SPRF) (System peak responsibility factor) ، اذا حل حمل المكون عند أقصى حمل للنظام محل المكون عند أقصى حمل للتوزيع فإن هذا العامل يصبح عامل المســئولية الاقصـــى للتوزيع (Distribution peak responsibility factor) ويرمز له (DPRF) . يقيس هذا العامل احتمالية المكون أن يكون له أقصى حمل متوافق مع أقصى حمل للنظام أو للتوزيع.

لمكونات التوزيع ، فإن PRF من الصعب توقعه لانه يعتمد على عوامل موسميه متعددة مثل تغيرات المناخ ، تطبيقات الحمل ،٠٠٠

لهذه الاسباب يكون للمكونات المنفصله عامل DPRF من 0.3 الى 0.95

لمحول الرفع الخاص بالوحده (مولد + محول) فإن SPRF = 1.0 اذا كان أقصى حمل للمحول يحدث عند نفس زمن حدوث أقصى ذروة النظام ٠بمعنى آخر اذا وجد مشترك واحد يتغذى من محول توزيع واحد ، فإن ميزة هذا المحول أنه يكتسب أقصى حمل عند نفس زمن وصول ذروة الشبكة الى أقل قيمة.

يتغير PRF تبعا للنظام ، يوضح جدول (7-3) أمثله لقيم SPRF لمحولات مركبه فى اماكن مختلفة

جدول (7-3) أمثله لقيم SPRF

النوع	عامل المسئولية الاقصى للنظام SPRF	$SPRF^2$
وحدة رفع Generator set up	1.0	1.0
محطة النقل Transmission substation	0.9	0.81
محطة التوزيع Distribution substation	0.8	0.64
محول التوزيع Distribution Transformer	0.75	0.56

وحيث أن SPRF تمثل نسبة الاحمال ، فإن مفقودات القدره تكون بدلالة $SPRF^2$ اذا كان للمكون فقد 1 ك٠و عند ذروة حمله ، وعلى ذلك فإن له $SPRF^2$ ك٠و فقد عند أقصى حمل للنظام ٠ وهكذا فأن $SPRF^2$ ك٠و يحتاج لاضافتها للتوليد والمعدات لتعويض أو لتغذية هذه المفقودات ٠

16- عامل التوزيع (Distribution Factor)DF

نادرا ما تتوزع مفقودات الدائرة على طول الخط بانتظام ، وذلك تبعا لطرق توزيع الحمل ۰ ولتقدير تأثير توزيع الحمل يتم حساب عامل الحمل ۰

يستخدم حساب عامل التوزيع الحمل الكلى عند نقطة على الموصل والذى ينتج مفقودات مساوية لهذه الاحمال الموزعه الفعليه ۰ فى الطريقة التالية يفترض أن للمغذى حمل موزع بانتظام ۰

بدراسة أقصى مفقودات I^2R على هذا المقطع من الخط فإن :

$$I = I_s + \left(I_R - I_S\right)\frac{X}{L}$$

حيث

I_s = اقصى تيار نهاية المرسل Peak sending-end current

I_r = أقصى تيار نهاية المستقبل Peak receiving-end current

فان أقصى مفقودات للثلاثة اطوار هى:

$$\text{Peak 3-ph losses} = 3\int_0^L I^2 r\,dx$$

حيث

r = المقاومة لكل وحدة طول

L = طول مقطع الخط

$$\begin{aligned}\text{Peak 3-ph losses} &= 3r\int_0^L [(I_S + (I_R - I_S)X/L)^2 dx] \\ &= r\,L\left(I_s^2 + I_S I_R + I_R^2\right) \\ &= r\,L\,I_s^2\left(1 + \frac{I_R}{I_s} + \frac{I_R^2}{I_s^2}\right) \\ &= r\,L\,I_s^2\left(1 + b + b^2\right)\end{aligned}$$

حيث

$$b = \frac{I_R}{I_s}$$

I

dx

I_s I_R

x

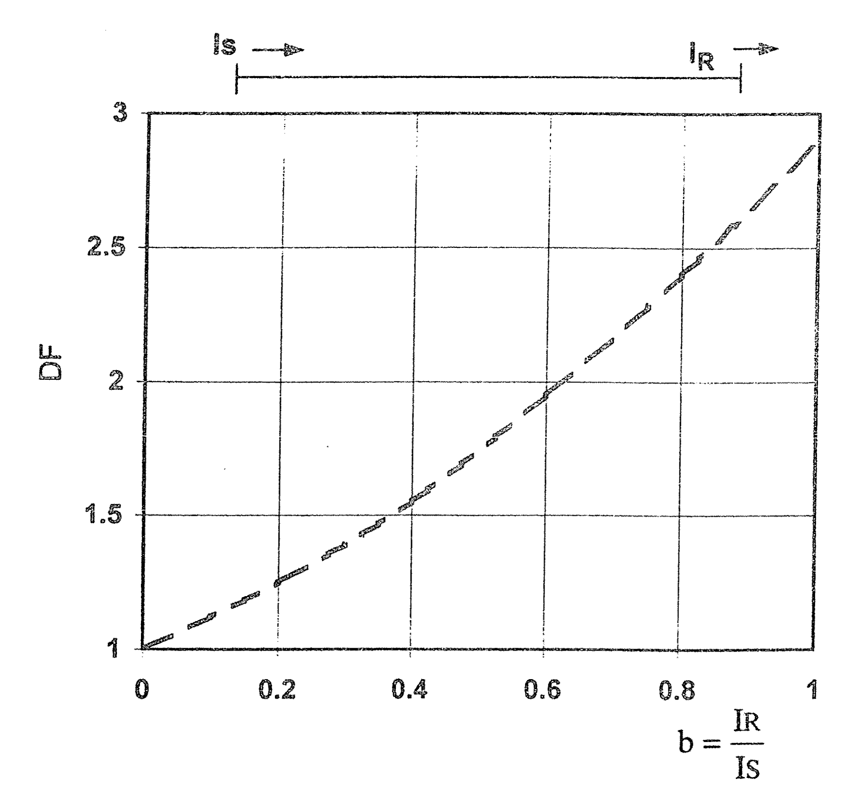
L

باستخدام النسبة b فان عامل التوزيع (DF) و بالتالى اقصى مفقودات للثلاثة اطوار تحسب كالآتى:

DF=Distribution Factor =$(1+b+b^2)$

$\therefore$ **Peak 3-phase losses = $rLI_s^2(DF)$**

يوضح شكل (3-13) تبسيط للحسابات . حيث اشتق عامل التوزيع (DF) على أساس فرض أن توزيع الحمل يكون منتظما خلال مقطع من الخط . ويمكن حدوث بعض الخطأ اذا كان الحمل خلال مساحة غير منتظم. وعلى ذلك فأن عامل التوزيع (DF) المشتق لايتوقع أن يسبب خطأ كبير . .



شكل (13 - 3) منحنى عامل التوزيع لحمل موزع بانتظام

الباب الرابع

الفقد فى القدرة والطاقه

Power and Energy Losses

مفقودات القدرة (Power Losses)

لأى معده كهربائية (أوخط نقل وتوزيع الكهرباء) ذى مقاومه R أوم/ طور ، فإن فقد القدرة الفعاله P_f يساوى :

$$P_f = 3 R I^2$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}.V}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$P_f = R.\left(\frac{S}{V}\right)^2 = R.\left(\frac{P}{V}\right)^2 + R.\left(\frac{Q}{V}\right)^2$$

حيث

S = apparent power = القدرة الظاهرية

P = active power = القدرة الفعالة

Q = reactive power = القدرة غير الفعالة

P_f = active power loss = فقد القدرة الفعالة

تتحول مفقودات القدرة الفعاله إلى حراره وتستهلك من طاقة مصدر التغذية . اذا كان للمعده الكهربائيه أو خط نقل وتوزيع الكهرباء ممانعه X (reactance) بوحدة أوم/طور فإن فقد القدرة غير الفعاله Q_f يساوى :

$$Q_f = 3 X I^2$$

$$Q_f = X.\left(\frac{S}{V}\right)^2 = X.\left(\frac{P}{V}\right)^2 + X.\left(\frac{Q}{V}\right)^2$$

يتـم تـوريد طاقه غيـر فعـاله بالشـبكة الكهـربائية من خـلال الآلات التزامنيـه (Synchronous machines) أو مكثفات التوازى (Shunt capacitors) أو السعويه المتـولده من الخطـوط (Capacitive generation of the lines) ، عندئذ تنخفض أو تزول مفقودات القدرة غير الفعاله .

يوضح شكل (1-4) قيم القدرة غير الفعاله (الناتجه من السعويه المتولده من الخطوط) عند مستويات الجهود المختلفه .

مفقودات القدرة لطور واحد ولثلاثة أطوار

سنفرض الآتى فى حالتى الطور الواحد والثلاثه أطوار :

- جميع الموصلات متماثله ولها مقاومه R (سواء للطور أو مسار التعادل)
- الجهود بين الطور والارضى متساويه

فى حالة خطوط الطور الواحد (Single - phase line) :

يمر التيار فى الطور من خلال مقاومه R ويعود فى مسار التعادل خلال مقاومه R أى أن فقد القدرة يساوى :

$$P_{f1} = I^2 (2R) = 2I^2 R$$

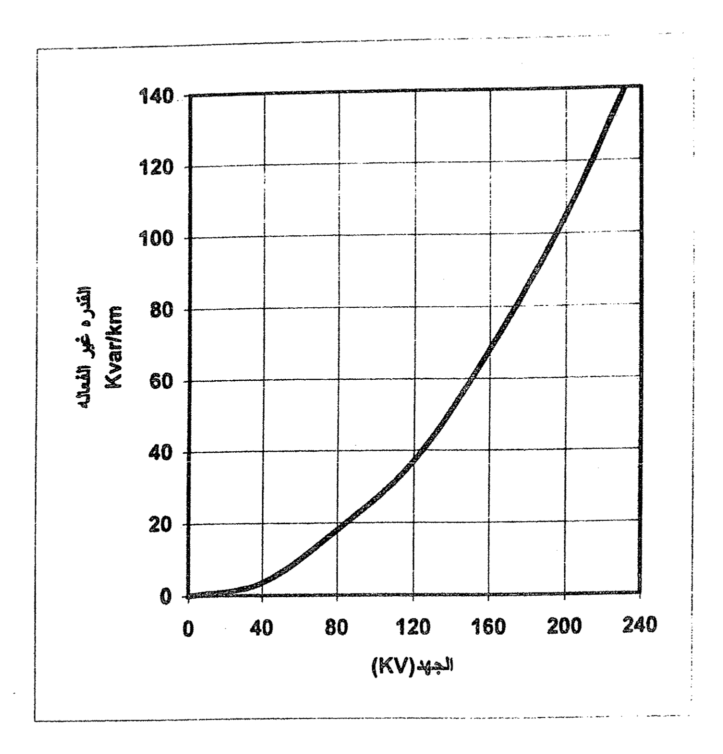
فى حالة نظام ثلاثى الطور (3-phase system) :

ينقسم الحمـل بين الاطـوار الثلاثه ويصبح التيـار لكل طور I/3 وحيث أن الاحمال متماثله فإن الجمع الاتجاهى لتيارات الثلاثة أطوار يساوى الصفر ، وبالتالى لايمر تيار بمسار التعادل.

و يكون فقد النظام

$$P_{f3} = \frac{I^2}{3^2}.R.3 = \frac{I^2.R}{3} = \frac{1}{6}.P_{f1}$$

أى أن فقد القدرة لنظام أحادى الطور يساوى 6 أضعاف فقد القدرة لنظام ثلاثى الطور متزن. وفى حالة عدم اتزان الاحمال تختلف هذه النسبه.



شكل (1 - 4) القدرة غير الفعاله بالخطوط الهوائيه
نتيجة السعويه المتولده عند مستويات الجهود المختلفه
(Source: Ref. (11))

مفقودات الطاقه (Energy Losses)

تؤدى مفقودات القدرة (P_f) إلى مفقودات الطاقه (W_f) كالآتى :

$$W_f = \int_0^T P_f \, dt$$

$$\because P_f = R.\left(\frac{S}{V}\right)^2 = R.\left(\frac{S_{max}}{V}\right)^2.\left(\frac{S}{S_{max}}\right)^2$$

عندئذ تصبح معادلة W_f كالآتى :

$$W_f = P_{fmax}.\int_0^T \left(\frac{S}{S_{max}}\right)^2 dt$$

وتمثل $\frac{P}{P_{max}}$ بدلالة زمن منحنى دوام الحمل العادى (normalized load duration curve) بفرض أن $\cos \emptyset = 1$ فإنه يمكن استبدال المعادله $\frac{P}{P_{max}} = f(t)$ بالمعادله $\frac{S}{S_{max}} = f(t)$

أى أن $\left(\frac{S}{S_{max}}\right)^2$ تعنى منحنى مربع الدوام العادى (Squared normalized duration curve) ومنه نحصل على زمن الاستعمال للفقد τ_f كالآتى:

$$\tau_f = \int_0^T \left(\frac{S}{S_{max}}\right)^2 .dt$$

عندئذ يمكن كتابة معادلة فقد الطاقة كالآتى :

$$W_f = P_{fmax} \,.\, \tau_f$$

يوضح شكل (2-4) التحويل من منحنى دوام الحمل $\left(\frac{S}{S_{max}}\right)$ إلى منحنى مربع

دوام الحمل $\left(\frac{S}{S_{max}}\right)^2$

بينما يبين شكل (3-4) تركيب المنحنين معا على نفس المحاور لكل من الحمل والفقد.

ويمكن الاستفاده والاستعانه بمنحنيات دوام الحمل النموذجيه المسجله بشكل (4-4).

يوضح شكل (5-4) العلاقه بين زمن الاستعمال للفقد (τ_f) بدلالة زمن الاستعمال للحمل (τ) فى الحالات الآتيــه :

- شبكة توزيع الكهرباء بدون أحمال صناعيه
- شبكة توزيع الكهرباء فى وجود أحمال صناعيه

خطوات حساب فقد الطاقة :

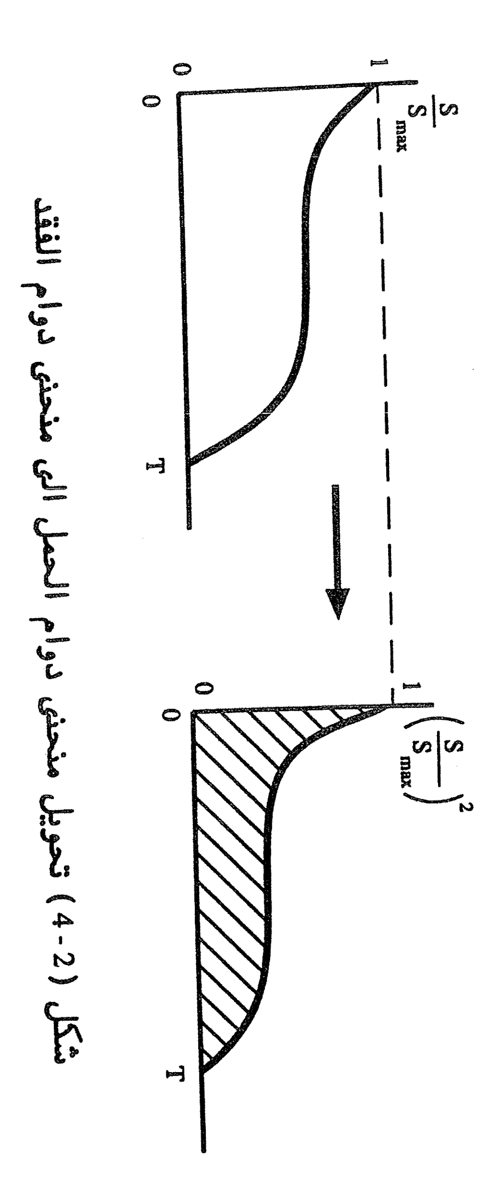
١-نحسب أقصي فقد للقدرة تبعا للمعادلة

$$P_f = R.\left(\frac{S_{max}}{V}\right)^2$$

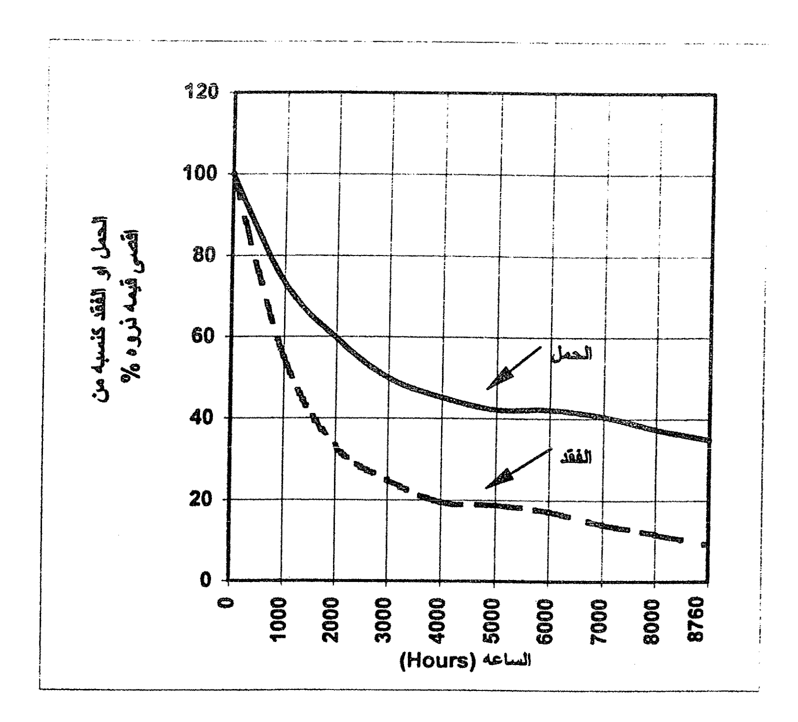
2 – نحسب τ_f من شكل (5-4) بفرض أن τ معروفه(يمكن فرض القيمة النموذجية)

3 – نحسب فقد الطاقة من المعادلة

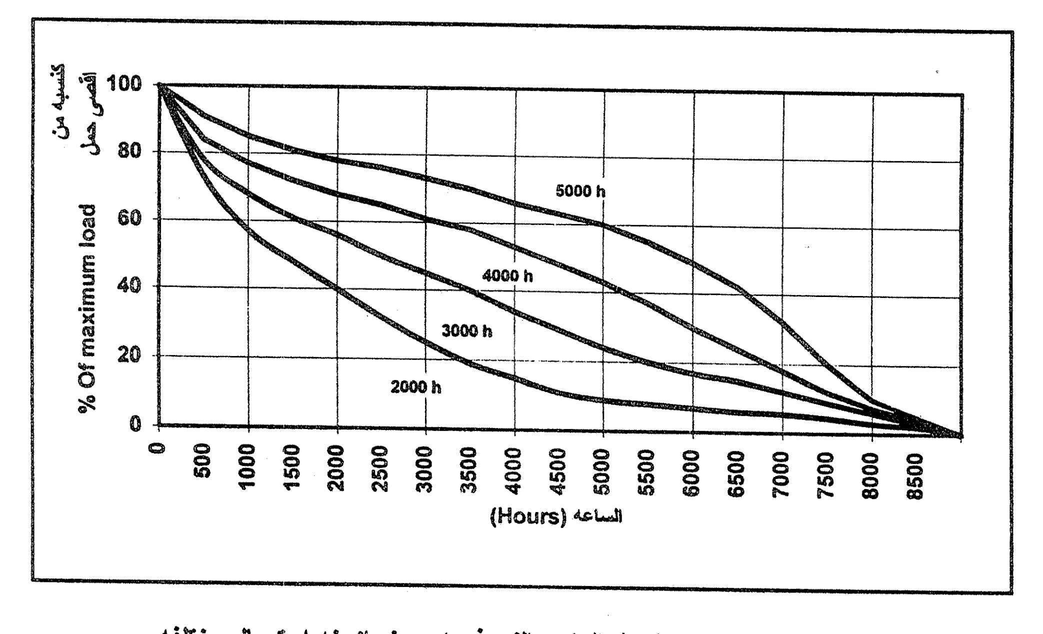
$$W_f = R_{fmax} . \tau_f$$



شكل (2-4) تحويل منحنى دوام الحمل الى منحنى دوام الفقد

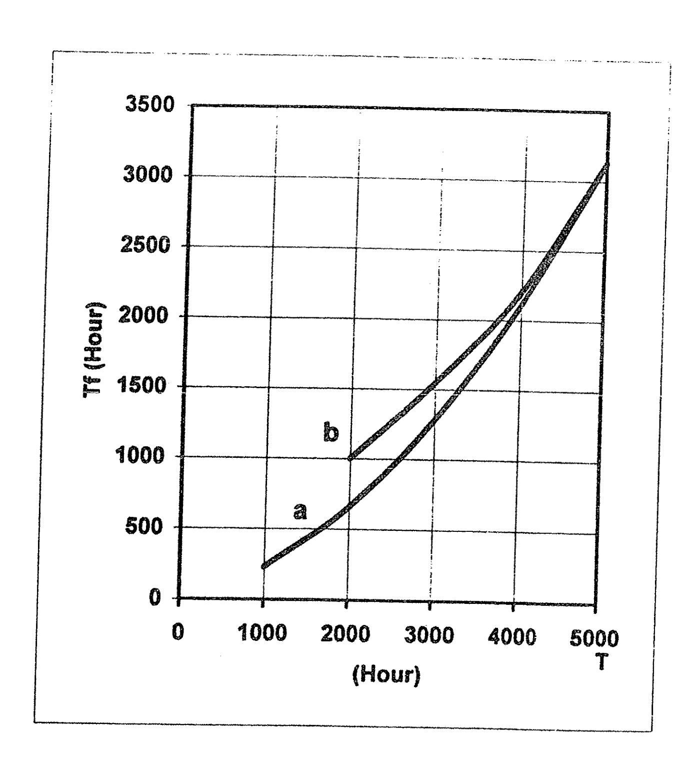


شكل (3 - 4) منحنى دوام الحمل ومنحنى دوام الفقد



شكل (4 - 4) منحنيات دوام الحمل العاديه النموذجيه ، عند ازمنه استعمال مختلفه ، لمناطق بالمدنيه تحتوى على احمال صناعيه

(Source: Ref. [11])



شكل (5 - 4) زمن الاستعمال للمفقودات (T_f)
كداله فى زمن استعمال الحمل (T)

(a) شبكة التوزيع بدون احمال صناعيه
(b) شبكة التوزيع فى وجود احمال صناعيه
(Source: Ref. [11])

الباب الخامس

الفقد فى المولدات

Generators Losses

مقدمة

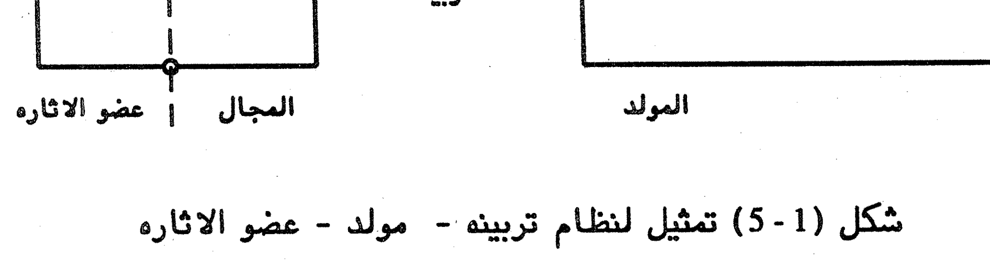
من المعروف ان المولدات هى المعدة التى تحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية. تنتج الآلات المتزامنه (Synchronous machines) قدرة عالية الموثوقية وكفاءة عالية ، ولذلك فهى من اكثر انواع المولدات انتشارا فى النظم الكهربائية.

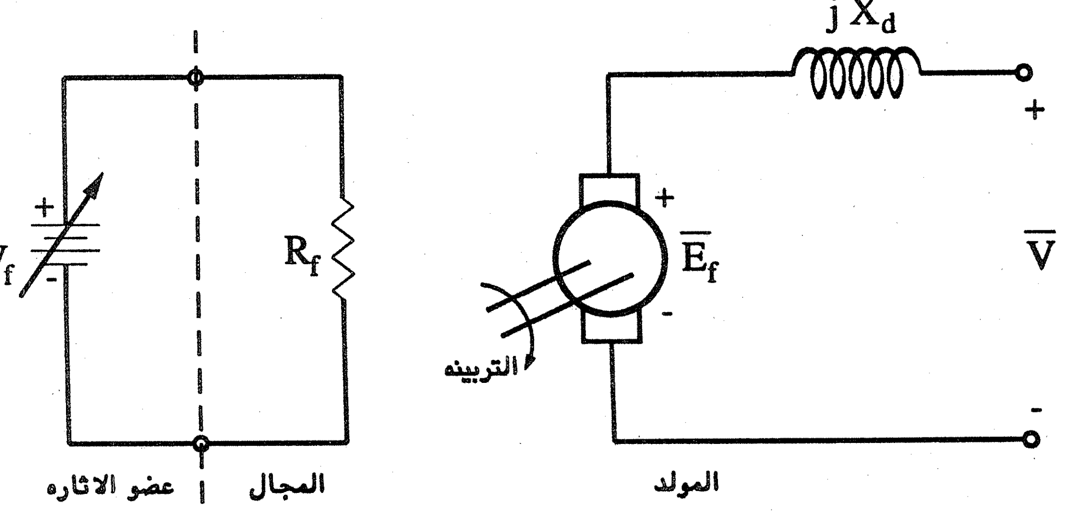
للمولدات وظيفتين أساسيتين ، الاولى انتاج قدرة فعالة (MW) والاخرى انتاج قدرة غير فعالة (MVAR) .

يوضح شكل (1 -5) تمثيل لنظام التربينة – المولد – عضو الأثارة (turbine - generator -exciter system) .

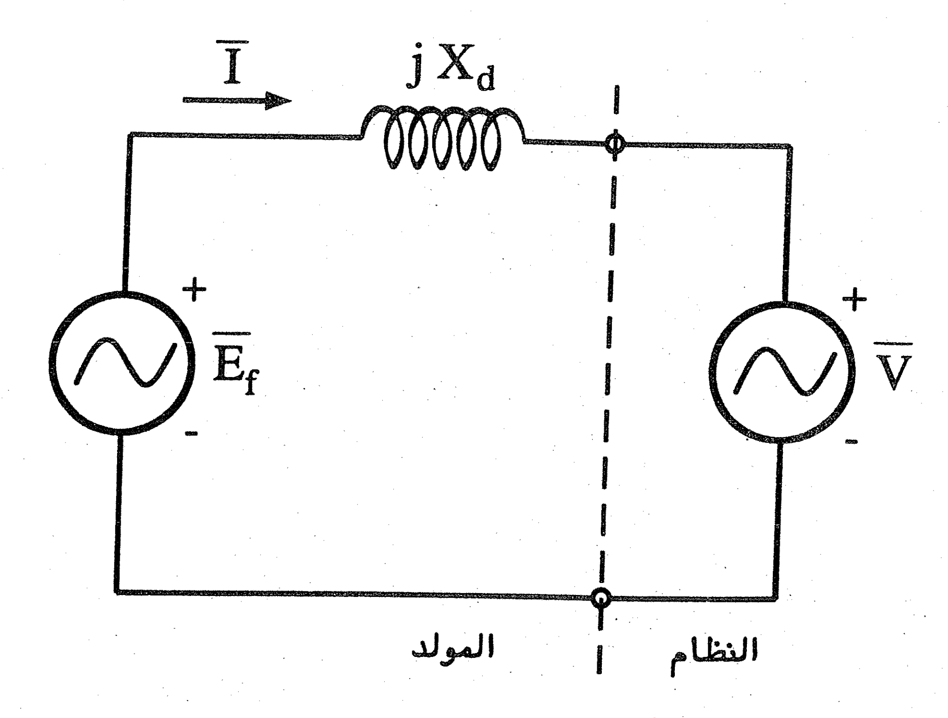
تتحكم التربينة (او المحرك الأ ساسي prime mover) فى القدرة الفعالة المولدة ، فمثلا بزيادة فتح صمام بخار التربينة ، تتولد قدرة فعالة اكثر ، والعكس بالعكس ، يمثل عضو الأثارة بمصدر جهد تيار مستمر (DC) ، التحكم فى تيار المجال (field current) يؤدى الى التحكم فى مصدر الجهد الداخلي المولد $\bar{E}_f$ وبذلك يتم التحكم فى جهد مخرج المولد $\bar{V}$

يوضح شكل (2 -5) تمثيل للدائرة المكافئة للمولد فى حالة الاستقرار (steady state) وفيه يمثل النظام بقضيب لانهائي(infinite bus) والذي يعنى ثبات الجهد وعادة يختار جهد مخرج المولد (او جهد النظام) كجهد مرجعى أي له زاوية تساوى الصفر.





شكل (1-5) تمثيل لنظام تربينه - مولد - عضو الاثاره



شكل (2 - 5) الدائره المكافئه للمولد

وتحصل على جهد المولد $\bar{E}_f$ من المعادلة التالية :

$$\bar{E}_f = \bar{I}\,(jx_d) + \bar{v} \qquad (1)$$

$$= jx_d\,\bar{I} + \bar{v}$$

$$= E_f \angle \delta$$

حيث

x_d = direct - axis synchronous reactance
= المفاعلة التزامنيه فى اتجاه المحور المباشر
δ = power angle
= زاوية القدرة

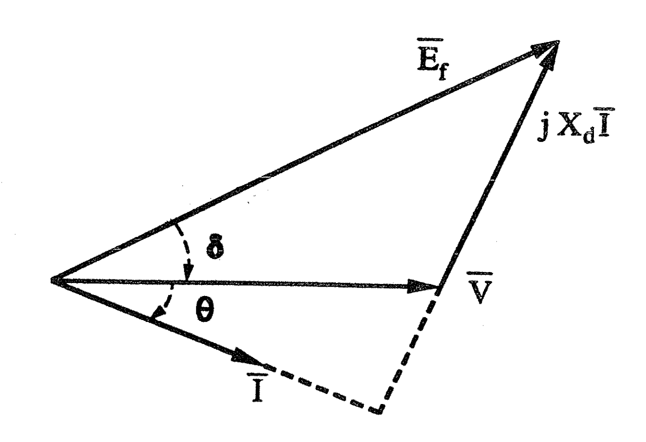
ويوضح شكل (3-5) الرسم الاتجاهى للمعادلة رقم (1) وتحسب القدرة المركبة المسحوبه بالنظام (للطور الواحد) من المعادلة :

$$S = \overline{VI^*} = \bar{V} = \left[\frac{\bar{E}f - \bar{V}}{jx_d}\right]^*$$

$$= V\left[\frac{E_f\angle\delta - V}{X_d\angle 90}\right]^*$$

$$= \frac{VE_f}{X_d}\sin\delta + j\left[\frac{VE_f}{X_d}\cos\delta - \frac{V^2}{Xd}\right]$$

$$= P + jQ$$



شكل (3-5) الرسم الاتجاهى للمتغيرات $\overline{E}_f , \overline{V} , \overline{I}$

يوضح شكل (4-5) العلاقة بين Q , P & زاوية القدرة

ونحصل على أقصى قيمة للقدرة الفعالة P_{max} (منسوبه الى حد ثبات حالة الاستقرار (Steady - State stability limit) من المعادلة التاليه :

$$P_{max} = \frac{VE_f}{X_d} \qquad (2)$$

تحدث أقصى قدرة فعاله عند زاوية قدرة $\delta = 90^\circ$

مثال :

مولد بياناته كالآتى :

$S_{3\,ph} = 250$ MVA (القدرة الظاهرية المقننة)

$P_{3ph} = 212.5$ MW (القدرة الفعالة المقننة)

$Q_{max} = 132$ MVAR

$Q_{min} = -100$ MVAR

$V_{line} = 13.8$ KV (الجهد المقنن للخط)

PF = 0.85 (معامل قدره متأخر)

$X_d = 1.2$ pu (وحده كسريه)

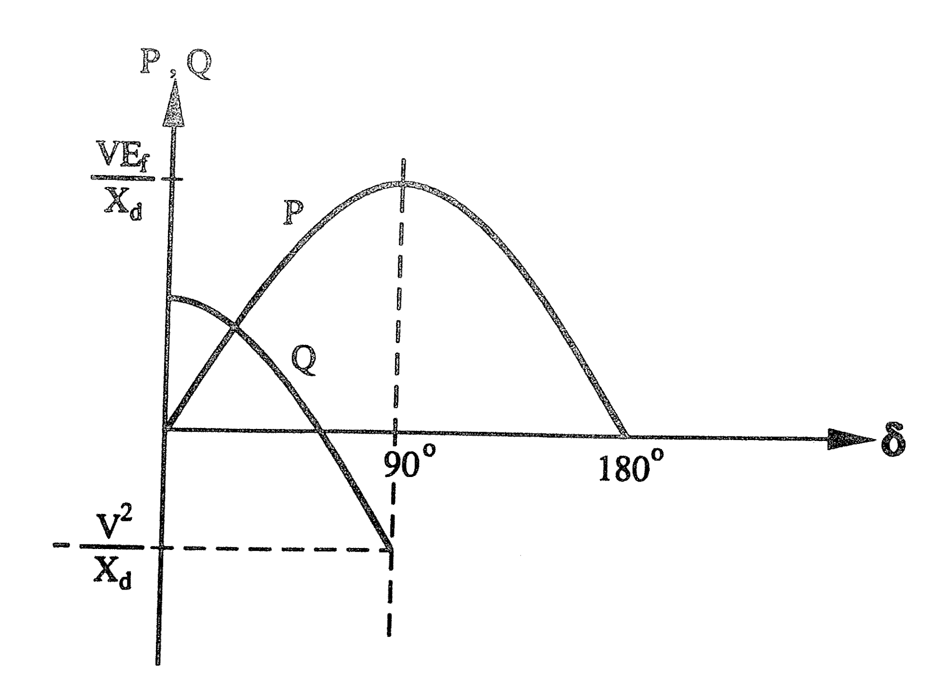
اوجد :

أولا: P & Q & E_f & δ بالوحدات الكسريه عند اشتغال المولد عند الجهد المقنن . (افرض أن اساس القدرة 250 MVA).

ثانيا : عند انخفاض القدرة الفعالة بنسبة 15% أحسب P & Q & E_f & δ

ثالثا : اذا ضبط عضو الاثاره لتخفيض E_f بنسبة 5.56%

أحسب P & Q & E_f & δ



شكل (4-5) العلاقه بين Q , P مع الزاويه δ للمولد

الحل :

أولا: تحول القدرة الظاهرية الى قدرة فعالة وقدرة غير فعالة كالآتى :

$$\bar{S} = S_{3ph} \angle \cos^{-1} (PF)$$

$$= 250 \angle \cos^{-1} (0.85)$$

$$= 250 \angle 31.8^0 = 212.5 + j\,132 \quad MVA$$

ولتحويلها الى وحدة كسرية

$$S_{pu} = \frac{\bar{S}}{S_{base}} = \frac{212.5 + j132}{250} = 0.85 + j0.527\ pu$$

وعلى ذلك فان

$P = 0.85 \quad pu$

$Q = 0.527 \quad pu$

ولحساب E_f & δ نحسب أولا التيار I عند الحالة المقننة :

$$\bar{I} = 1 \angle -\cos^{-1} (PF) = 1 \angle -31.8^0 \quad pu$$

$$\bar{E}_f = \bar{I}\,(jx_d) + \bar{V}$$

$$=(1 \angle -31.8^o)\,(j1.2) + 1 \angle 0^o$$

$$= 1.6323 + j\,1.01987 = 1.925 \angle 32^o \quad pu$$

وعلى ذلك فأن

$E_f = 1.925 \quad pu$

$\delta = 32^o$

وتعتبر هذه النتائج كحاله أساسيه للمطلوب فى ثانيا وثالثا

ثانيا :

تنخفض القدرة الفعالة بنسبة 15% من الحالة الأساسية

$P = (1- 0.15)* (0.85) = 0.7225 \quad pu$

بفرض أن التغير فى القدرة الفعالة لم يؤثر على E_f فأن

$E_f = 1.925 \quad pu$

ويمكن حساب زاوية القدرة كالآتى :

$$\delta = \sin^{-1}\left[\frac{PX_d}{E_f V}\right]$$

$$\delta = \sin^{-1}\left[\frac{(0.7225)(1.2)}{(1.925)(1)}\right] = 26.8^o$$

وتصبح القدرة غير الفعاله كالآتى :

$$Q = \left[\frac{VE_f}{X_d}\cos\delta - \frac{V^2}{X_d}\right]$$

$$= \left[\frac{(1.925)(1)}{(1.2)}\cos(26.5^o) - \frac{(1)^2}{1.2}\right] = 0.599 pu$$

ثالثا :

تنخفض E_f بنسبة 5.56% من الحالة الأساسية

$E_f = (1-0.0556)*(1.925) = 1.818 \text{ pu}$

بفرض أن ضبط القدرة الفعالة المثارة لا تؤثر على القدرة الفعالة المولدة

$\therefore P = 0.85 \text{ pu}$

وتحسب زاوية القدرة من المعادلة

$$\delta = \sin^{-1}\left[\frac{PX_d}{E_f V}\right]$$

$$= \sin^{-1}\left[\frac{(0.85)(1.2)}{(1.818)(1)}\right] = 34.1^\circ$$

وتكون القدرة غير الفعالة

$$Q = \left[\frac{VE_f}{X_d}\cos\delta - \frac{V^2}{X_d}\right]$$

$$= \left[\frac{(1.818)(1)}{(1.2)}\cos(34.1) - \frac{(1)^2}{1.2}\right] = 0.421\text{pu}$$

ويوضح الجدول التالى ملخص النتائج

الحالة	P		Q		E_f		Q	
	p.u	%	p.u	%	p.u	%	درجة	%
الأولى	0.85		0.527		1.925		32	
الثانية	0.7225	-15%	0.599	+14%	1.925		26.8	-14%
الثالثة	0.85		0.421	-20%	1.818	-5.56%	34.1	+6.6%

ويتضح من النتائج أن :

- انخفاض القدرة الفعالة المولدة بنسبة 15% تؤدى الى انخفاض الزاوية δ بنسبة 14%
- الانخفاض الصغير فى جهد المولد بنسبة 5.56% يسبب انخفاض واضح فى القدرة غير الفعالة المولدة بنسبة 20 %

وفيما يلى تلخيص أداء المولدات المتزامنة :

- تكون كمية القدرة الفعالة (MW) المنتجة من المولد المتزامن بدلالة الزاوية δ ويتم التحكم فى الزاوية δ عن طريق مدير الحركة الميكانيكية للعضو الدوار
- تكون كمية القدرة غير الفعالة (MVAR) المنتجة من المولد المتزامن بدلالة الجهد E_f ،ويتم التحكم فى الجهد E_f بواسطة الأثارة الكهربائية للعضو الدوار.

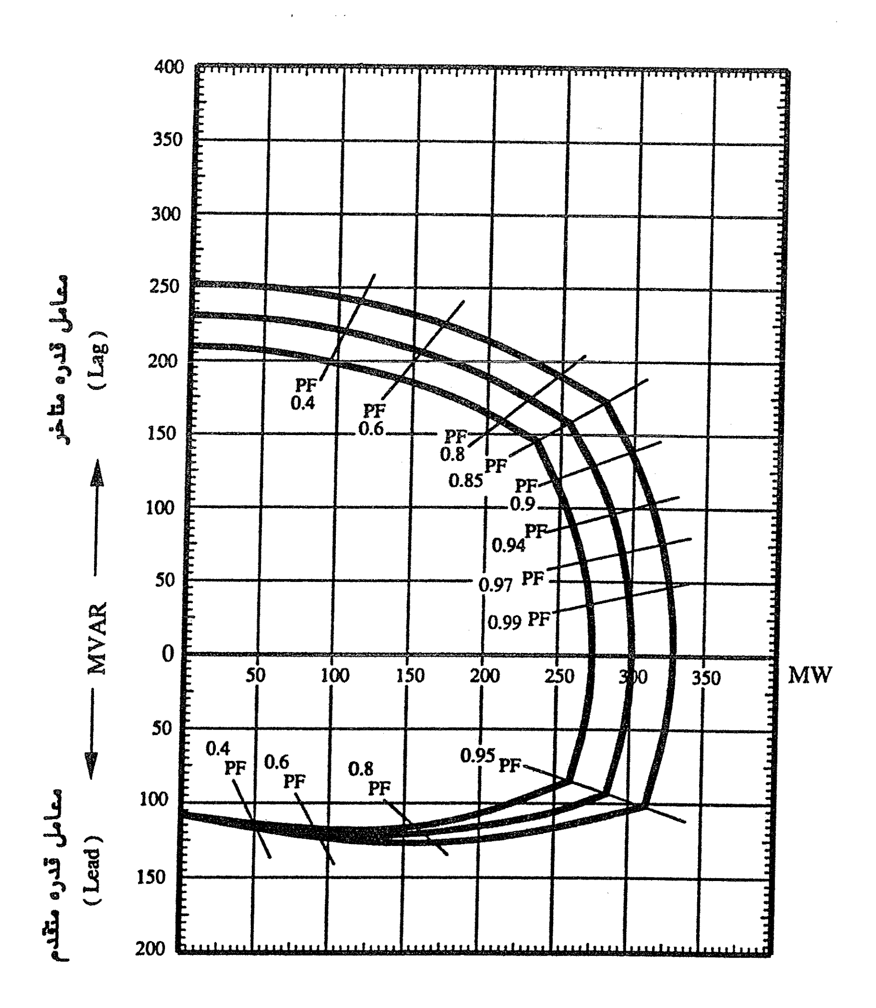
منحنيات الاستطاعة للمولد (Generator Capability Curves)

تحـــتاج الآلات الدوارة الكبيرة لمنحنيات الاستطاعة لانشاء حدود تشغيل آمنه ، يعرف منحنى الاستطاعة بأنه منحنى حدوده مساحة الرسم البيانى للقدرة الفعاله (MW) و القدرة غير الفعاله(MVAR) و التى يمكن للاله ان تعمل، خلال هذا المنحنى ، بصفه متواصلة لمقدرة ظاهرية MVA و لحدود جهود تشغيل مسموحه.

يوضــح شــكل (5-5) منحنى الاستطاعة النموذجى لمولد .عند كل مخرج قدرة فعاله (MW) يوجــد حديــن للقدرة غير الفعاله ، احدهما يعرف بالقدرة غير الفعاله فوق معــدل الاســتثارة (overexcited) و الاخــر يعرف بالقدرة غير الفعاله اسفل معدل الاســتثارة (underexcited)،كما هو واضح فى الشكل فان استطاعة مخرج القدرة غير الفعاله المستمرة محدودة بالحدود الاتية

- حــد تســخين العضــو الثابت(stator heating limit) (او حد تيار المنتج armature current limit)
- حــد تســخين العضو الدوار (rotor heating limit) (او حد تيار المجال field current limit)
- حــد تســخين لفات النهاية بالعضو الثابت (stator end turn heating limit)

تؤثر الاستطاعة غير الفعاله للمولد فى مقدرة المولد على تنظيم جهد النظام فى حالات التشغيل العادية او العارضه ،وبالتالى تؤثر فى اداء النظم الكهربائية .



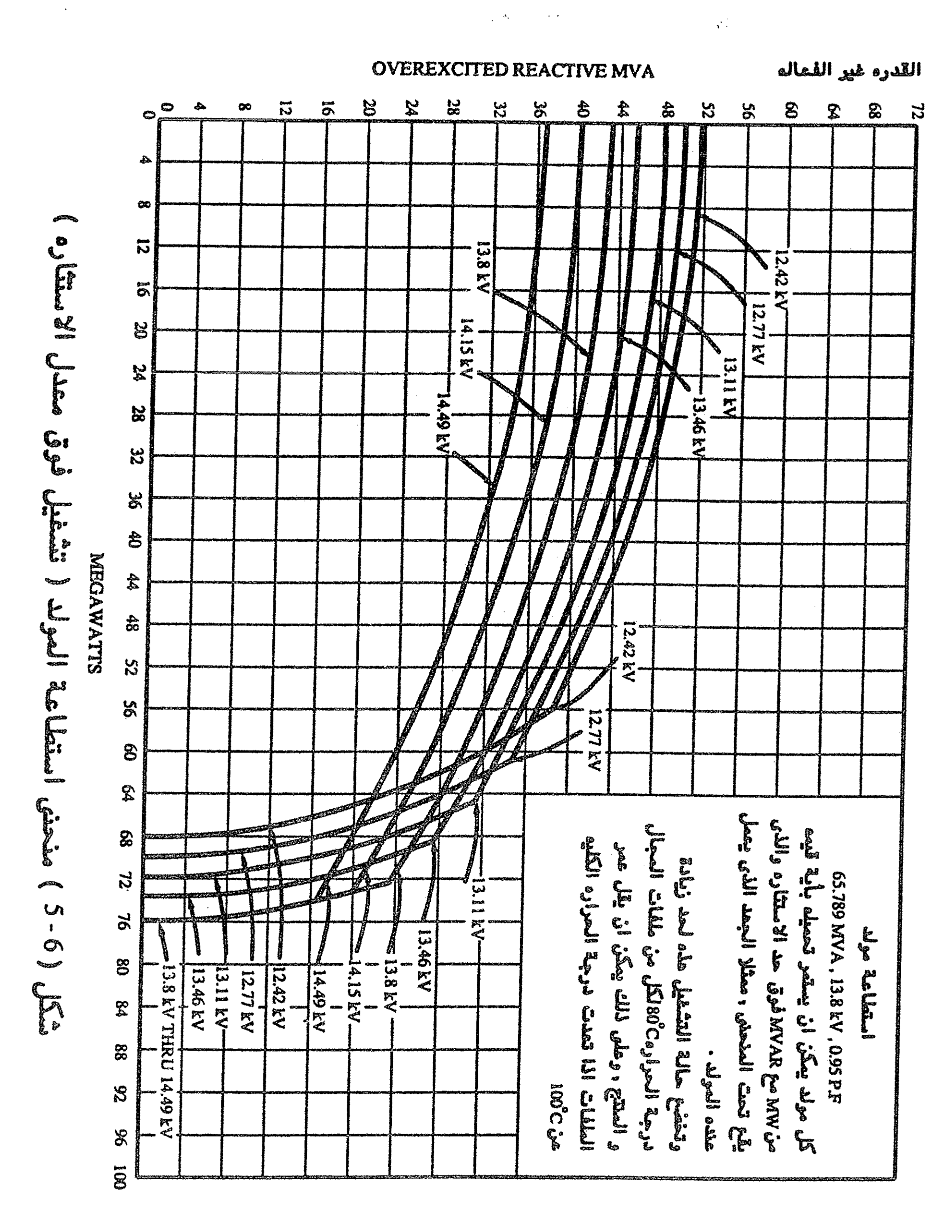
شكل (5 - 5) المحل الهندسى لمنحنى الاستطاعه غير الفعاله للمولد

يوضح شكل (5-6) منحنيات فوق معدل الاستثارة (overexcited or boosting voltage) لمولد بياناته كالاتى : 65.789MVA&13.8KV&0.95 PF الحد الاعلى لجهد التشغيل 105% من الجهد المقنن .... هذه المنحنيات مجهزه لقدرة MVA خلال مدى تشغيل متوقع و التى تخضع لحدود جهود تشغيل مسموحه ..

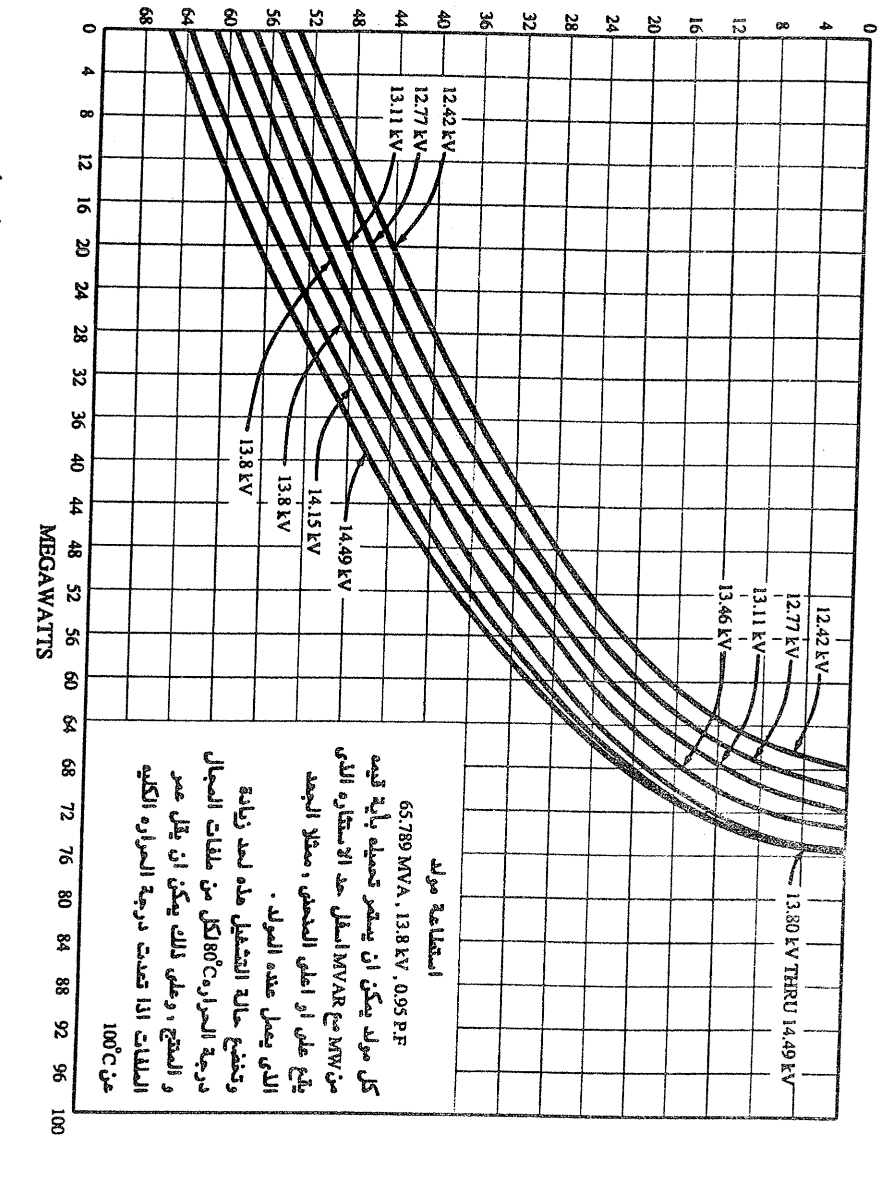
ويوضح شكل (5-7) منحنيات اسفل معدل الاستثارة (Underexcited or bucking voltage) فى هذه المنحنيات ، يحد تشغيل المولد بتيار المنتج المسموح (permissible armature current state) ويحد ثبات حالة الاستقرار (Steady state stability Limit) ،

و تكون حالة الاستقرار بدلالة كل من : مفاعلات المولد (reactances) & و مفاعله النظام الخارجى (external system reactance) & وجهد اطراف المولد .

عندما يزيد الحمل غير الفعال (KVAR) عند عدم وجود حمل فعال (KW) ، فى اخر الامر سيصبح المولد غير مستقر (Unstable) وتبدأ حالة انزلاق الاقطاب (slip poles) .عند هذه النقطه فان القدرة KVA وتيار المنتج يكونا اعلى من القيم المقننة لذلك لايمكن استمرار التشغيل بالقرب من هذه النقطه بسبب سخونه المنتج .



شكل (6-5) منحنى استطاعة المولد (تشغيل فوق معدل الاستثاره)



شكل (٧ - ٥) منحنى استطاعة المولد (تشغيل اسفل معدل الاستثاره)

المفقودات

عـــادة تشمل مفقودات المولدات على مفقودات الاحتكاك بالهواء[1] (windage loss) ومفقـــودات الاحـــتكاك [2] (friction) ولا تشـــمل المفقـــودات الناتجة عن التحميل (bearing) او عن مانعات التسريب (seal) ...

يوضح جدول (1 -5) كفاءة (أو مفقودات) مولدات قدرات مختلفة _ جهد 13.8 KV وسرعة 3600 r/min .

تعتمد كفاءة(أو الفقد) للمولدات على نسبة التحميل ونظام التبريد...

مـــثلا يوضح جدول (2 -5) الكفاءة والفقد لمولد 44000 KVA & 0.8 PF & 13.8 KV تبعـــا لنســـبة التحمـــيل وعنـــد التبريد باســـتخدام هواء او هيدروجين بمحطات التوليد ، عند تحويل الوقود الى طاقة ميكانيكية وقبل الدخول على عمـــود دوران المولـــد يحدث فقد حراري (thermal losses) . يمثل الفقد الحرارى نسبة كبيرة من فقد الطاقة

يوضـــح جـــدول (3 -5) الكفاءة الحرارية والطاقة المفقودة لبعض انواع المحركات الأولية بمحطات التوليد.....

---

(1) فقـــد الاحـــتكاك بالهواء : هو القدرة التى يستهلكها الجزء الدوار فى تحريكه للهواء (او الغاز او الـــبخار) المحيط عندما تكون حركة الهواء عارضة بالنسبة للجزء الدوار ،أى ليست أساسية فى وظيفة العضو الدوار.

(2) فقد الاحتكاك : هو القدرة الناتجة من قوة معاكسة تنشأ بين الأسطح المتلامسة بحيث تقاوم الحركة النسبية لهما ، وهى تنتج بسبب الخشونة السطحية.

جدول (5-1) كفاءة مولدات جهد 13.8 KV & 3600 rpm / min

القدرة KVA	معامل القدرة PF	نظام التبريد Cooling	الكفاءة % (Efficiency)
9375	0.8	هواء	97.6
12500	0.85	هواء	98.1
15625	0.85	هواء	98.3
18750	0.85	هواء	98.3
25600	0.85	هواء	98.3
32000	0.85	هواء	98.3
44000	0.85	هواء	98.3
50000	0.85	هواء	98.4
25600	0.85	هيدروجين	98.5
32000	0.85	هيدروجين	98.6
44000	0.85	هيدروجين	98.7
51200	0.85	هيدروجين	98.7
64000	0.85	هيدروجين	98.7
76800	0.85	هيدروجين	98.8
96000	0.85	هيدروجين	98.8
115000	0.85	هيدروجين	98.9
133700	0.85	هيدروجين	99.0
161300	0.90	هيدروجين	99.1
175000	0.90	هيدروجين	99.1

جدول (5-2) الفقد والكفاءة لنسب تحميل مختلفة

مولد 13.8 KV & 0.85 PF & 44000 KVA

البند \ نسبة التحميل	100%	75%	50%	25%
الكفاءة % (تبريد هيدروجين)	98.7	98.7	98.6	97.9
الكفاءة % (تبريد هواء)	98.3	98.0	97.3	95.1
الفقـــــد (KW)	180	224	256	277

جدول (5-3) الكفاءة الحرارية لمولدات القدرة والطاقة المفقوده

محرك اولى (prime mover)	الكفاءة الحرارية (thermal efficiency) %	الطاقة المفقودة (energy lost) %
تربينه غازيه (1) بسيطه (Simple)	17 - 25	75 - 83
(2) استرجاعى (regenerative)	25 - 34	66 - 75
تربينه بخارية	20 - 27	73 - 80
تربينه غاز / بخار (1) بدون احتراق (unfired)	25 - 34	66 - 75
(2) باحتراق (fired)	50 - 70	30 - 50

مفقودات مولدات التيار المستمر Losses of D.C Generators

يوضح شكل (5-8) انواع مفقودات مولدات التيار المستمر

بينما يوضح شكل (5-9) تمثيل لمكونات مولد التيار المستمر

فيما يلى توضيح وتعريف للمفقودات

(1) مفقودات النحاس (Copper losses)

أ _ فقد عضو الإنتاج (armature copper loss)

هــذا الفقــد يحتل حوالى من 30% الى 40% من مفقودات الحمل الكامل ونحصل عليه من المعادلة

فقد عضو الإنتاج = $I_a^2 \ R_a$

حيث

R_a = مقاومة عضو الإنتاج وملف مجال التوالي والأقطاب المتداخلة

ب – فقد نحاس المجال (Field copper loss)

هذا الفقد يمثل حوالى 20% الى 30% من مفقودات الحمل الكامل ونحصل عليه من المعادلة

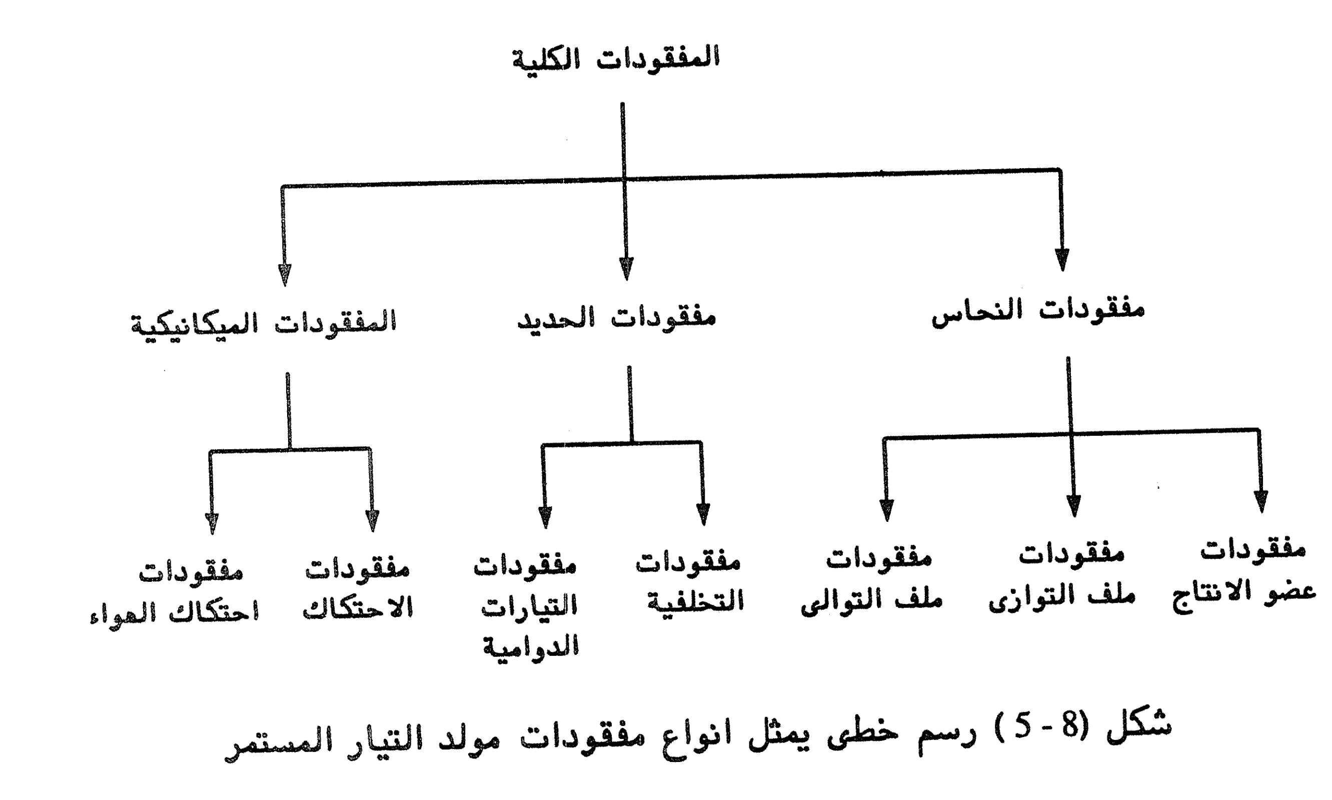
فقد نحاس المجال = $I_{sh}^2 R_{sh}$ (فى حالة مولد توازى)

= $I_{se}^2 R_{se}$ (فى حالة مولد توالى)

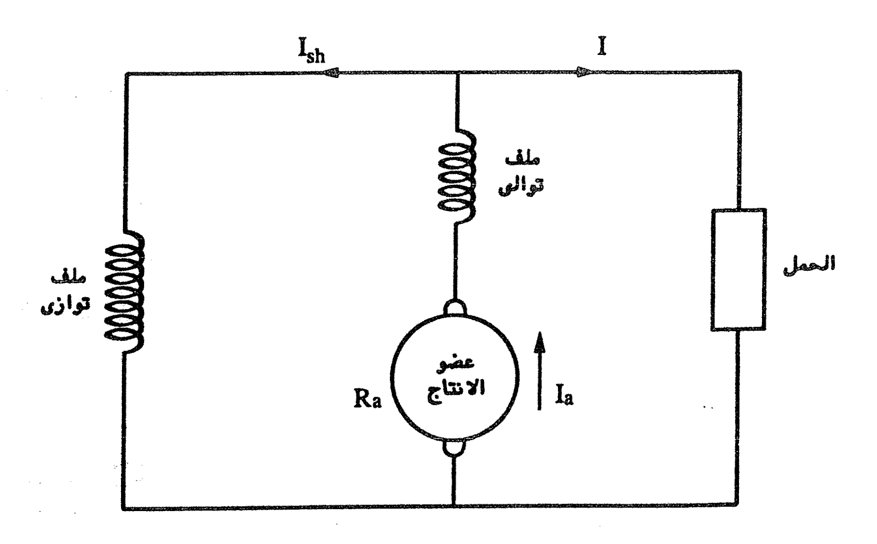
جـ ــ فقد نتيجة اتصال الفرش

(The loss due to brush contact resistance)

هذا الفقد عادة يكون ضمن فقد نحاس عضو الانتاج



شكل (8 - 5) رسم خطى يمثل انواع مفقودات مولد التيار المستمر



شكل (9-5) الدائرة المكافئة لمولد تيار مستمر

(2) مفقودات الحديد (او المفقودات المغناطيسيه او مفقودات القلب)
Iron losses (or magnetic losses or core losses)

هذه المفقودات تمثل حــوالى من 20% الى 30% من مفقــودات الحمل الكلى

وتنقسم هذه المفقودات الى :

أ _ فقد التخلفية (Hysteresis loss)

ونحصل عليها من المعادلة $W_h \alpha B_{max}^{1.6} f$

ب_ فقد التيارات الدواميه (Eddy current loss)

ونحصل عليها من المعادلة $W_e \alpha B_{max}^{2} f^2$

حيث

f = تردد انعكاس المغناطيسية (Frequency of magnetic reversals)

B_{max} = أقصى كثافة فيض (Maximum Flux density)

(3) المفقودات الميكانيكية (Mechanical losses)

هذه المفقودات تمثل من 10% الى 20% من مفقودات الحمل الكامل

تتكون هذه المفقودات من :

- **فقد الاحتكاك (Friction loss)**

ينــتج الاحــتكاك نتيجة قوة معاكسة تنشأ بين الاسطح المتلامسة بحيث تقاوم الحركة النسبية لهما ، وعادة بسبب الخشونة السطحية .

- **فقد الاحتكاك بالهواء (windage loss)**

هــى القدرة التى يستهلكها المحرك فى تحريكه للهواء (او الغاز او البخار) المحيط عندما تكون حركة الهواء عارضة بالنسبة له اى ليست اساسية فى وظيفة المحرك.

مفقودات الآلات التزامنية (Losses of synchronous machines)

الآلة المتزامنة ، كالمحرك او المولد الكهربى ، هى الآلة التى يتناسب متوسط سرعتها مع تردد الجهد المسلط او المولد ، من انواع هذه الآلات :

- المحرك التزامنى (synchronous motor)

  هو محرك ثابت السرعة ، وتعتمد سرعته على تردد منبع المصدر الموصل به المحرك وعدد الاقطاب المغناطيسية

- المولد التزامنى (synchronous generator)

  هو مولد تيار متردد ، تستثار ملفات مغناطيس المجال خارجيا بتيار مستمر ويدار بسرعة ثابتة تناظر تردد المخرج المطلوب .

تنقسم مفقودات الآلات المتزامنة الى :

(1)فقد دائرة الإثارة : (Exciting circuit loss)

- فقد I^2R للمجال (Field I^2R)
- فقد ناتج عن استخدام مقاومة متغيرة [1] (rheostat)
- فقد الفرش (brushes)
- فقد عنصر الإثارة (exciter)

(2)الفقد الثابت (Fixed Loss)

- فقد القلب (Core)
- احتكاك كرسى التحميل [2] (bearing friction)
- الفقد الكلى للاحتكاك بالهواء (total windage)
- فقد احتكاك الفرش (brush friction)

---

(1) نظـــام كهربى لفرملة (كبح) المحركات الكهربائية ، وفيه يتم توصيل المحرك كمولد فى دائرة كهربائية مغلقة وتبدد الطاقة الناتجة فى مقاومة متغيرة .

(2) كرسى التحميل هوحامل او محور دوران يكفل سهولة دورانه ويتلقى الاحمال المؤثرة عليه.

(3) فقد الحمل المباشر (Direct load loss)

- فقد I^2R فى ملفات المنتج (I^2R loss in armature winding)

(4) فقد التيار الشارد (Stray load loss)

- فقد فى الحديد (in iron)
- فقد فى الموصلات (in conductors)

ترجع مفقودات التيار الشارد الى تسرب :

- مجالات شاردة فى الاجزاء الحديدية الثابتة بالقرب من العضو الثابت
- تشـــوه المجـــال بواسطة خطوط المغنطة المتقاطعة ، والتى تزيد فقد الحديد فى الاسنان (teeth)
- مفقـــودات التيارات الدوامية فى موصلات العضو الثابت نتيجة للجزء الرئيسى للفيض والمحمل خلال المجارى (slots) بسبب التشبع(saturation) فى الاسنان

يوضـــح جدول (4- 5) مثال لقيم المفقودات بمولد – تربينى(turbo- generator) مقنن القدرة 23.4 MVA عند معامل قدرة 0.8

جدول (4-5)

قيمة الفقد (KW)	نوع الفقد
68	فقد الاحتكاك (Friction loss)
220	فقد احتكاك الهواء (Windage loss)
165	فقد القلب (Core loss)
62	فقد I^2R للعضو الثابت (Stator I^2R loss)
138	فقد التيار الشارد (Stator load loss)
14	فقد عضو الإثارة (Exciter loss)
96	فقد I^2R للعضو الدوار(rotor I^2R loss)
763	الفقد الكلى

الباب السادس

الفقد فى شبكات النقل

Transmission Losses

بشبكات النقل توجد عوامل متعددة تؤثر فى كمية المفقودات.. بعض هذه العوامل ترجع إلى معدات الشبكة والأخرى ترجع إلى نظام التشغيل ..

عوامل ترجع إلى معدات الشبكة :

أ- أن يكـــون موضـــع المولـــدات والمحولات بالشبكة الكهربائية بعيدا عن مراكز الأحمال مما يسبب زيادة مفقودات النحاس نتيجة نقل القدرة لمسافات بعيدة.

ب- تمثل موصلات الخطوط ذات المقاطع الصغيرة مقاومة عالية والتى تؤدى إلى زيادة فى مفقودات النحاس.

ج- التصـــميم غـــير الكـــفء وغير الملائم للخطوط الهوائية ذات الجهود الفائقة يسبب زيادة فى مفقودات الكورونا.

عوامل ترجع إلى نظام التشغيل :

أ- ســريان القـــدرة غـــير الفعالـــة (Q) بخطوط النقل تؤدى إلى زيادة مفقودات الـــنحاس حيث يتناسب التيار مع $(P^2+Q^2)^{1/2}$ وعليه فإن تخفيض قيمة Q يؤدى إلى تخفيض قيمة التيار وبالتالى انخفاض مفقودات النحاس.. بالإضافة إلـــى أن ســـريان القدرة غير الفعالة يسبب هبوط الجهد (voltage drop) والذى يسبب زيادة التيار المار وبالتالى زيادة المفقودات. وعليه للوصول إلى كفاءة عالية للشبكة يجب تخفيض سريان القدرة غير الفعالة..

ب- لكمـــية محـــدودة مـــن القدرة المنقولة فإن التشغيل عند جهد منخفض يعنى مفقودات نحاس زائدة.

ج- يشارك عدم اتزان الأحمال فى زيادة كمية المفقودات.

ء- يؤدى التحميل الزائد للمحولات إلى زيادة مفقودات النحاس.

هـــ- يسبب تلوث العازلات في زيادة تيار تسريب (leakage current) العازلات والتى تؤدى إلى ظهور مفقودات العزل (isolator losses).

عموما تتكون القيمة الكلية لمفقودات الخطوط من :

1 - مفقودات القدرة والمحسوبة من العلاقة $P = 3 I^2 R$.

2 - مفقودات ظاهرة السطح (skin effect) وظاهرة التقاربية (proximity effect)

3 - مفقودات التيارات الدائريه (circulating currents) أو التيارات الدوامية (eddy currents) أو كليهما معا وذلك نتيجة التسليح المعدنى (metallic shield).

4 - مفقودات مواسير الكابلات (conduit loss) والراجعة إلى التيارات الدوامية وتأثير ظاهرة التخلفية [1] (hysteresis effect) إذا كانت المواسير قابلة للمغنطة.

5 - مفقودات الكورونا وتيار التسريب (فى حالة الخطوط الهوائية)

تعتبر مفقودات القدرة (P) هى العنصر المؤثر فى القيمة الكلية لمفقودات الخطوط ولحساب مفقودات القدرة يجب تحديد :

- مقاومة الموصلات (R)
- أقصى تيار مار بالموصلات (I)

بتطبـيق بـرنامج تنظيف وصيانة العازلات يمكن اهمال مفقودات العازلات.. وعموما أغلـب خطـوط الجهـد العالى والفائق تصمم عند أقل قيمة لمفقودات الكورونا وتيار التسريب..

---

(1) الفقـد نتـيجة التخلفـية عبارة عن فقد فى الطاقة، على شكل حرارة، ناتج من مادة فرومغناطيسية معرضة لمجال مغناطيسى متغير أو مادة عازلة معرضة لمجال كهربائى متغير.

سنتعرض فى هذا الباب إلى :

- مقاومة الموصلات
- حساب مفقودات شبكات النقل
- بعض وسائل تخفيض مفقودات الخطوط

أولا: مقاومة الموصل (Conductor resistance)

تحسب مقاومة التيار المستمر R_{20} للموصل بوحدات Ω / Km عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ من المعادلة التالية

$$R_{20} = \frac{1000}{x_{20} \cdot q}$$

حيث :

X_{20} = conductivity at $20^{\circ}C$ for copper 56 m / Ω mm^2
for aluminum 33 m / Ω mm^2

= الموصلية [1] عند $20^{\circ}C$ والتي تساوي 56 m / Ω mm^2 للنحاس بينما تساوي 33 m / Ω mm^2 للألومينيوم

q = conductor cross section mm^2

= مقطع الموصل بوحدة mm^2

تختلف المقاومة R_{dc} تبعا لدرجة حرارة التشغيل θ وتخضع للمعادلة التالية

$$R_{\theta} = R_{20}\left(1 + \alpha_{20}(\theta - 20)\right)$$

حيث :

α_{20} = temperature coefficient of electric resistance

= معامل درجة الحرارة للمقاومة الكهربائية

= 0.00393 deg^{-1} للنحاس

= 0.00403 deg^{-1} للألومينيوم

---

(1) الموصلية : هى خاصية نوعية لمادة ما تحدد قابليتها لتوصيل التيار الكهربائى (مقلوب المقاومة الحجمية) وتساوى موصلية المادة لوحدة الطول ووحدة مساحة المقطع.

يوضـــح جدول (1-6) قيم R_θ عند درجات حرارة مختلفة لموصلات الومنيوم ونحاس كذلك يوضح جدول (2-6) قيمة مقاومة بعض الكابلات النحاس عند 75°C & 60 Hz

عند حساب مفقودات القدرة تستخدم المقاومة المؤثرة [1] (effective resistance) والتى نحصل عليها من المعادلة التالية عند درجة حرارة التشغيل θ

$R_{ac} = R_{dc} + \Delta R$

حيث

R_{ac} = effective resistance (Ω / km)

= المقاومة المؤثرة (Ω / km)

ΔR = additional losses (Ω / km)

= مقاومات اضافية (Ω / km)

يوضـــح شـــكل (1-6) قيمة المقاومة الاضافية ΔR لكابلات متعددة القلب (multi – core)

يوضـــح جدول (3-6) مقاس الموصلات النحاس التقليدية لكابلات القوى وحدود التيار الاقتصـــادى لكل مقاس والمحسوب على أساس أن يحمل الكابل بأقصى تيار خلال العام الأول مـــن العمر المتوقع للكابلات (عمر الكابل حوالى 30 عام)، وأخذ فى الأعتبار : 2% معـــدل نمـــو مستوى للحمل & 5% معدل خصم & 2% زيادة سنوية فى تكلفة الطاقة

ويلاحـــظ أن الحـــدود الاقتصـــادية أقل من التيار المسموح طبقا للمواصفات القياسية IEE18

توضح الجـــداول (4-6)، (5-6)، (6-6) مقـــاومة وممانعة خطوط النقل جهـــود 220 KV & 66 KV & 132 KV على التوالى لبعض أنواع ومقاسات الموصلات.

---

(1) المقاومـــة المؤثـــرة: هـــى المقاومة الاجمالية التى يبديها عنصر من دائرة تيار متردد، بما فى ذلك مقاومـــة التـــيار المستمر والمقاومة الناتجة عن الفقد بفعل التيارات الدوامية والتخلفية المغناطيسية والهالة (الكورونا)

جدول (1-6) مقاومة التيار المستمر (R_{dc}) لموصلات نحاس وألومنيوم اعتمادا على درجة الحرارة [1]

مقطع الموصل mm^2	المقاومة R_{dc} عند درجات حرارة مختلفة (Ω/Km)											
	20°C		25°C		30°C		35°C		40°C		45°C	
	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	AL
1.5	11.9	–	12.1	–	12.4	–	12.6	–	12.8	–	13.0	–
2.5	7.14	12.1	7.28	12.3	7.42	12.6	7.56	12.8	7.7	13.0	7.84	13.3
4	4.46	7.58	4.55	7.73	4.63	7.88	4.72	8.04	4.81	8.19	4.9	8.34
6	2.98	5.05	3.03	5.15	3.09	5.25	3.15	5.35	3.21	5.45	3.27	5.56
10	1.79	3.03	1.82	3.09	1.86	3.15	1.89	3.21	1.92	3.27	1.96	3.33
16	1.12	1.89	1.14	1.93	1.16	1.97	1.18	2	1.2	2.04	1.22	2.08
25	0.714	1.21	0.728	1.23	0.742	1.26	0.756	1.28	0.77	1.31	0.784	1.33
35	0.510	0.866	0.52	0.883	0.530	0.9	0.54	0.918	0.55	0.935	0.56	0.95
50	0.357	0.606	0.364	0.618	0.371	0.63	0.378	0.642	0.385	0.654	0.392	0.667
70	0.255	0.433	0.26	0.442	0.265	0.45	0.27	0.459	0.275	0.468	0.28	0.476
95	0.188	0.319	0.192	0.325	0.195	0.332	0.199	0.338	0.203	0.345	0.206	0.351
120	0.149	0.253	0.152	0.258	0.155	0.263	0.158	0.268	0.161	0.273	0.163	0.278
150	0.119	0.202	0.121	0.206	0.124	0.21	0.126	0.214	0.128	0.218	0.131	0.222
185	0.097	0.164	0.098	0.167	0.1	0.171	0.102	0.174	0.104	0.177	0.106	0.18
240	0.074	0.126	0.076	0.129	0.077	0.131	0.079	0.134	0.08	0.136	0.082	0.139
300	0.0595	0.101	0.0607	0.103	0.0618	0.105	0.0630	0.107	0.0641	0.109	0.0653	0.111
400	0.0446	0.0758	0.0455	0.0773	0.0463	0.0788	0.0472	0.0804	0.0481	0.0819	0.0489	0.0834
500	0.0357	0.0606	0.0364	0.0618	0.0371	0.063	0.0378	0.0642	0.0385	0.0654	0.0392	0.0667

(1) يمكن استخدام هذه الجداول أيضا بكفاءة عالية للخطوط الهوائية. للموصلات ACSR على ان يؤخذ في الاعتبار فقط مقطع الالومنيوم.

تابع جدول(6-1)

مقطع الموصل mm^2	المقاومة R_{dc} عند درجات حرارة مختلفة (Ω /Km)									
	50 °C		55 °C		60 °C		65 °C		70 °C	
	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	AL
1.5	13.3	–	13.5	–	13.8	–	14.0	–	14.2	–
2.5	7.98	13.6	8.11	13.8	8.25	14.0	8.39	14.3	8.53	14.5
4	4.98	8.49	5.07	8.6	5.16	8.79	5.24	8.94	5.33	9.1
6	3.32	5.66	3.38	5.76	3.44	5.86	3.5	5.96	3.56	6.06
10	2.0	3.39	2.03	3.45	2.06	3.51	2.1	3.58	2.13	3.64
16	1.25	2.12	1.27	2.16	1.29	2.2	1.31	2.23	1.33	2.27
25	0.798	1.36	0.811	1.38	0.825	1.4	0.839	1.43	0.853	1.45
35	0.57	0.970	0.58	0.987	0.589	1.0	0.6	1.02	0.609	1.04
50	0.399	0.679	0.406	0.691	0.413	0.703	0.42	0.715	0.427	0.727
70	0.285	0.485	0.29	0.494	0.295	0.502	0.3	0.511	0.305	0.52
95	0.21	0.357	0.214	0.364	0.217	0.370	0.221	0.376	0.225	0.383
120	0.166	0.283	0.169	0.288	0.172	0.293	0.175	0.299	0.178	0.304
150	0.133	0.226	0.135	0.23	0.138	0.234	0.14	0.238	0.142	0.242
185	0.108	0.184	0.110	0.187	0.112	0.19	0.113	0.194	0.115	0.197
240	0.083	0.141	0.085	0.144	0.086	0.146	0.087	0.149	0.089	0.151
300	0.0665	0.115	0.0676	0.115	0.0688	0.117	0.0699	0.119	0.0711	0.121
400	0.0498	0.0849	0.0507	0.0864	0.0516	0.0879	0.0524	0.0894	0.0533	0.091
500	0.0399	0.0679	0.0406	0.0691	0.0413	0.0703	0.042	0.0715	0.0427	0.0727

جدول (6-2) مقاومة مقاسات مختلفة الكابلات*

مقاومة الكابل Ω / 1000 ft	مقاس الكابلات** AWG or kcmil
0.780	8
0.489	6
0.309	4
0.195	2
0.155	1
0.124	1/0
0.100	2/0
0.078	3/0
0.064	4/0
0.055	250
0.046	300
0.040	350
0.035	400
0.032	450
0.029	500
0.025	600
0.021	750

* كابلات أحادية أو ثلاثية الطور ممدودة فى مواسير

أو كابلات ثلاثية الطور هوائية معزولة

** Kcmil : Kilo circular mils

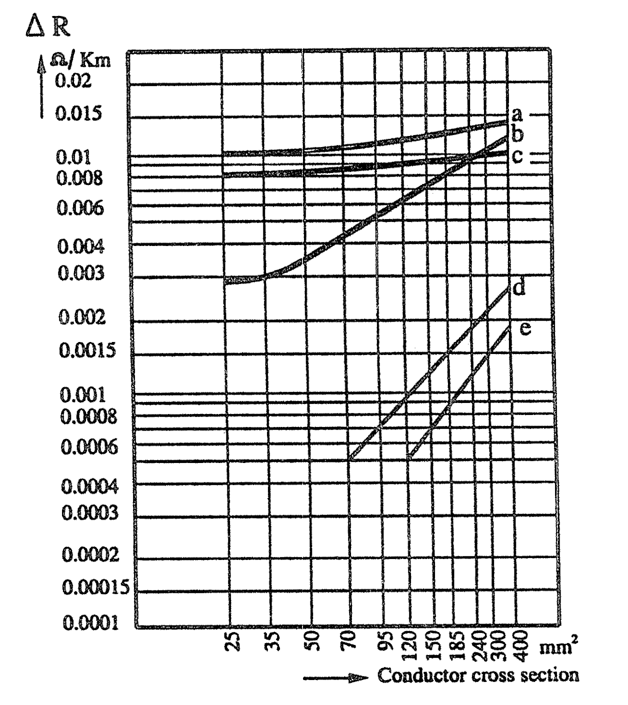
cmil : is the cross – section of a wire of 1 mil diameter

1 cmil $= 506.7 * 10^{-6}$ mm ^{2}

1 mm ^{2} = 1973 cmil

1 mil = 0.0254 mm diameter

AWG = American wire Gauge



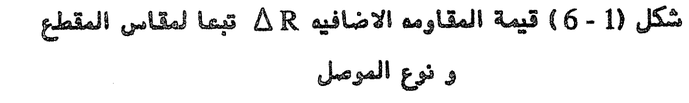
(a) كابلات مسلحه بغلاف رصاص و الموصلات من الالومنيوم او النحاس

(b) كابلات غير مسلحه بغلاف الالومنيوم و الموصلات من الالومنيوم او النحاس

(c) كابلات بلاستيك مسلحه و الموصلات من الالومنيوم او النحاس

(d) كابلات بلاستيك غير مسلحه و الموصلات من النحاس

(e) كابلات بلاستيك غير مسلحه و الموصلات من الالومنيوم



شكل (1 - 6) قيمة المقاومه الاضافيه ΔR تبعا لمقاس المقطع و نوع الموصل

جدول (3-6) حدود التيار الاقتصادى لكابلات القوى (نحاس)

مقاس الموصل conductor size mm^2	حدود التيار الاقتصادى Economical Current Range		المقتن الحرارى طبقا لتوصيات IEE (Amp)
	الأدنى (Amp)	الأقصى (Amp)	
25	—	15	91
35	15	23	112
50	23	29	133
70	29	40	163
95	40	55	194
120	55	71	224
150	71	82	250
185	82	106	286
240	106	141	332
300	141	191	372
400	191	—	423

Source : http://www.cda.org.uk

جدول (6-4) المتغيرات الكهربائية لخطوط النقل جهد 220KV

نوع الموصل	المقاومة Ω / Km (40°C)	الممانعة Ω / Km	التقبلية [2] susceptance [1] µs/Km
ACSR 400	0.0835	0.412	2.71
Al 400	0.0835	0.412	2.71
ACO 400	0.08	0.393	2.85
Al 2×236	0.078	0.41	2.73
ACO 2×240	0.078	0.41	2.73
Al 2×300	0.0835	0.412	2.71
Al-weld 462	0.0835	0.412	2.71
Cable 3×1000	0.0202	0.1344	88.30

جدول (6-5) المتغيرات الكهربائية لخطوط النقل 132KV

نوع الموصل	المقاومة resistance Ω / Km (40°C)	الممانعة reactance Ω / Km	التقبلية susceptance µs/Km
Al 120	0.27	0.416	2.72
Al 322	0.10	0.388	2.85
Al 400	0.0835	0.412	2.85

---

(1) ميكرو سيمنز micro siemense

سيمنز هى وحدة لقياس قابلية التوصيل الكهربى لموصل، تساوى مقلوب الأوم، يطلق عليها عادة اسم " موى "

(2) التقبلية: الجزء التخيلى من المسامحة (القبولية) • الوحدة العملية للقياس هى السيمنز

جدول (6-6) المتغيرات الكهربائية لخطوط النقل جهد 66KV

نوع الموصل	المقاومة resistance Ω / Km (40 °C)	الممانعة reactance Ω / Km	التقبلية susceptance µs/Km
كابلات			
Cu 3(1×240) mm^2	0.0885	0.218	141.30
Cu 3(1×250)	0.071	0.1	84.78
Cu 3×240	0.0735	0.1	141.30
Cu 3×300	0.0613	0.0942	126.20
خطوط هوائية			
CU 50	0.361	0.413	2.30
CU 75	0.2678	0.4074	2.75
CU 150	0.133	0.40	2.90
ACSR 95	0.319	0.395	2.30
ACSR 120	0.235	0.385	2.30
ACSR 240	0.134	0.38	2.90
ACSR 291	0.134	0.38	3.00
ACSR 385	0.08	0.34	2.30
Al 240	0.134	0.38	3.00
Al 300	0.11	0.38	3.00
Al 380	0.08	0.34	2.30
Al Mg Si 454	0.08	0.34	2.30
Al Mg 240	0.153	0.38	3.00

المادة الأفضل للموصل :

تكـــون موصلية [1] (conductivity) النحاس أعلى من موصلية الالومنيوم بحوالى 65% وهـــذا يعنى أن لنفس مقنن التيار يكون مقاس موصل النحاس أقل من موصل الالومنـــيوم. وعلـــيه فـــإن موصل الالومنيوم يحتاج مواد عازلة وتسليح... أكثر من النحاس وبالتالى تكون التكلفة أكثر...

يوضح جدول (7-6) مقارنة بين كابلين نحاس والومنيوم لهما نفس مقنن التيار تقريبا ولكن يلاحظ الاختلاف فى قطر كل منهما

جدول (7-6) خصائص كابلى نحاس والومنيوم

الخصائص	مادة الموصل	
	نحاس	الومنيوم
المقاس (mm^2) (Size)	300	500
القطر الكلى (mm) (overall diameter)	66.5	83.9
أقل نصف قطر انحناء (mm) (min. bending radius)	550	700
أقصى مقاومة تيار مستمر عند 20^o (Ω/Km) (max. dc resistance/Km at 20^o)	0.0601	0.0617
مقنن التيار (Amp) (Continuous current rating)	496	501

(1) الموصلية: خاصية نوعية لمادة ما تحدد قابليتها لتوصيل التيار الكهربى (مقلوب المقاومة الحجمية) وتساوى موصلية المادة لوحدة الطول ووحدة مساحة المقطع.

ثانيا: حساب مفقودات شبكات النقل

عـــادة تكون شبكات النقل ذات جهود عالية وفائقة وتتكون من شبكة حلقية تتغذى من عدد من محطات توليد الكهرباء.

يوضـــح شـــكل (6-2) تمثـــيل نظام توليد الطاقة الكهربائية مكون من مولد / تربينة / غلايـــة. بيـــنما يوضح شكل (6-3) عدد N من وحدات التوليد تغذى حمل P_R، تعرف الرموز المستخدمة كالآتى:

F_i = input to each unit, represents the cost rate [1]

= مدخل كل وحدة ممثلا بمعدل التكلفة

i = No. of units (1, 2.... N)

= عدد الوحدات

P_i = output of each unit, electrical power generated

= مخرج كل وحدة، القدرة الكهربائية المتولدة

P_R = received electrical load

= الحمل الكهربى المستقبل

فى شكل (6-3) أهملت مفقودات الخط ... ويحقق هذا الشكل المعادلات الآتية:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \ldots\ldots\ldots + F_N$$

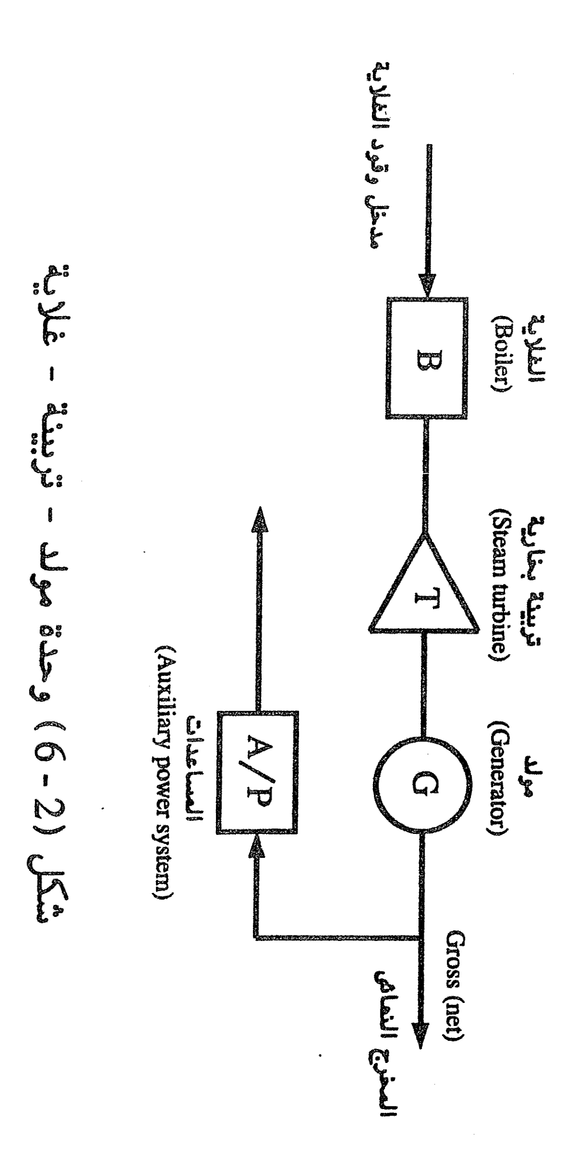
$$= \sum_{i=1}^{N} F_i(P_i) \qquad (1)$$

$$\varphi = 0 = P_R - \sum_{i=1}^{N} P_i \qquad (2)$$

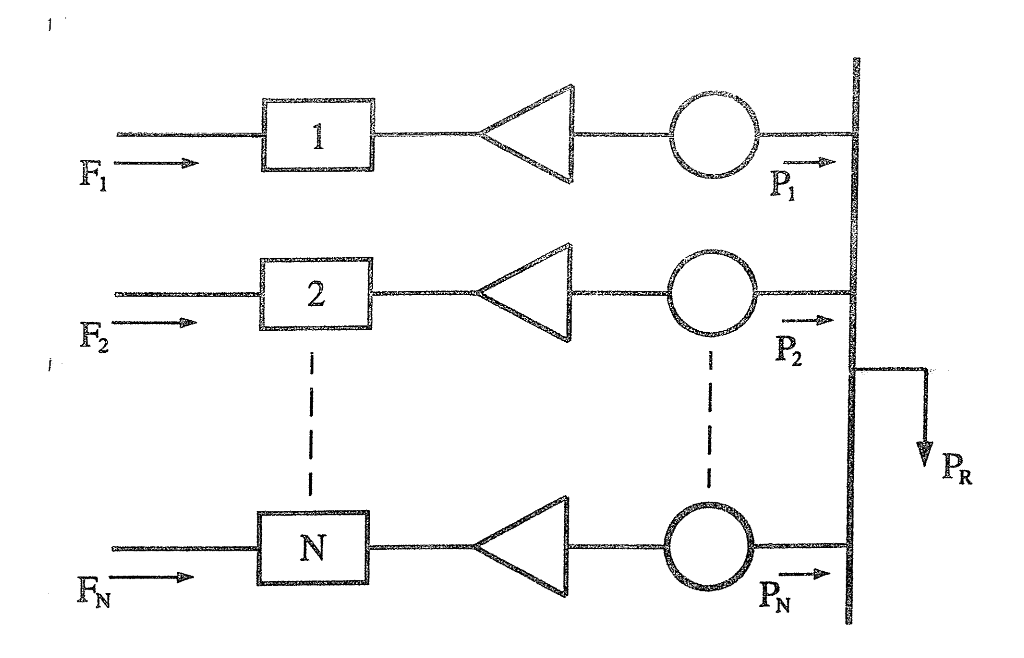
من المعادلتين (1) & (2) نحصل على دالة لاجرانج **(La Grange Function)**

---

(1) معدل التكلفة: تستهلك وحدات التوليد وقود عند معدل محدد (وهو مليون Btu فى الساعة أى (MBtu/h



شكل (2-6) وحدة مولد - تربينة - غلاية



شكل (3 - 6) عدد N من وحدات المولدات لتغذية الحمل P_R

$$L = F_T + \lambda\,\varphi \qquad (3)$$

حيث λ هي عامل ضرب لاجرانج (La Grange multiplier).

يوضح شكل (4-6) عدد N من وحدات التوليد لتغذية حمل P_R من خلال شبكة نقل لها مفقودات P_L ... عندئذ تصبح المعادلة رقم (2) كالآتي:

$$P_R + P_L - \sum_{i=1}^{N} P_i = \varphi = 0 \qquad (4)$$

وتكون دالة لاجرانج

$$L = F_T + \lambda\,\varphi$$

بتفاضل دالة لاجرانج بالنسبة لمخرج القدرة P_i

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{dF_i}{dP_i} - \lambda\left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}\right) = 0 \qquad (5)$$

يوجد عدد N من المعادلة رقم (5)

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda\left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}\right)$$

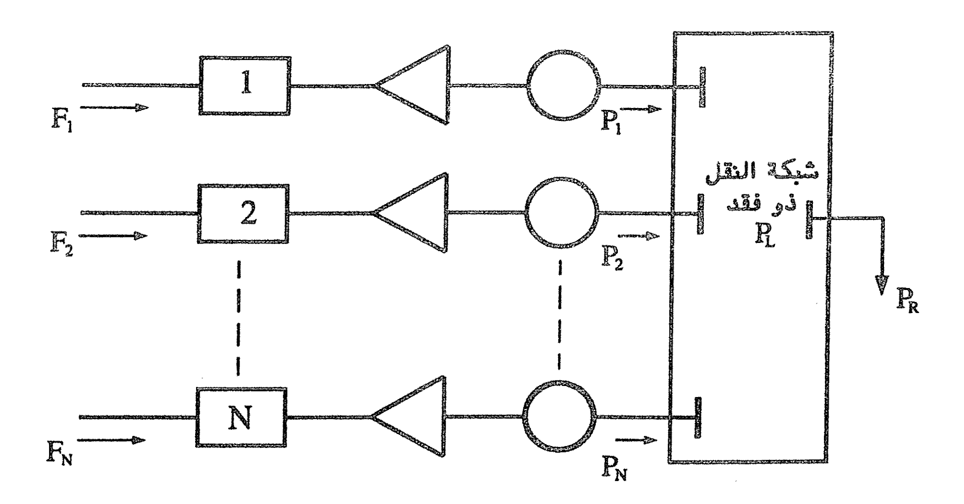
$$\frac{dF_i}{dP_i} + \lambda\frac{\partial P_L}{\partial P_i} = \lambda$$

مـــن الصـــعوبة حل هذه المعادلات يدويا للحصول علي فقد الخط P_L ولكن يتم الحل بسهولة باستخدام برامج سريان القدرة (power flow)

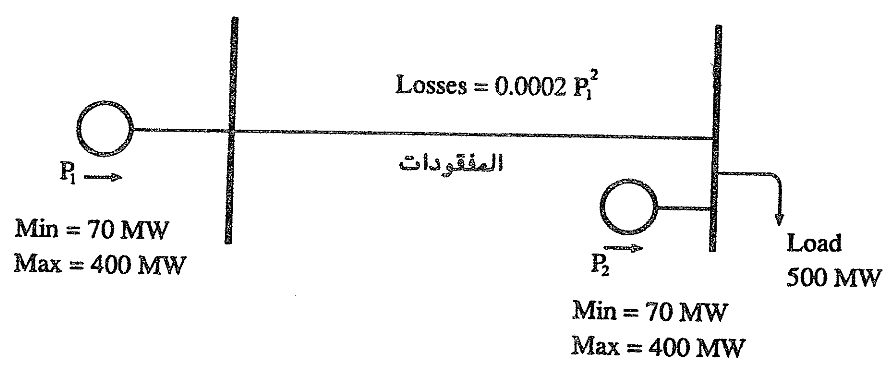
مثال:

يوضح شكل (5-6) تمثيل لمولدين كل منهما محمل 250 MW

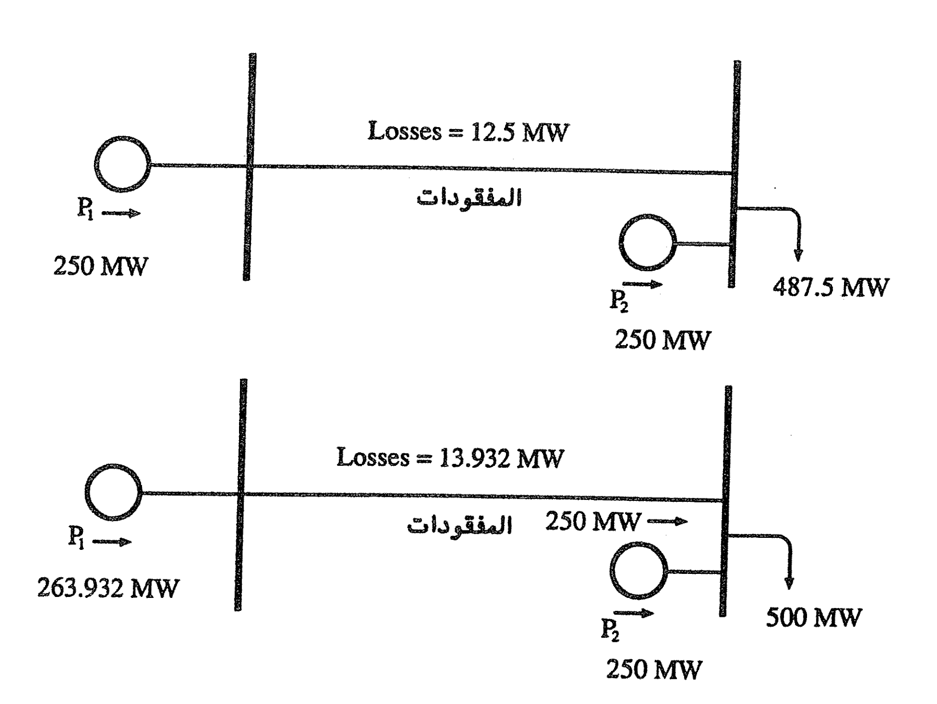
أحسب مفقودات النقل ،



شكل (4 - 6) عدد N من الوحدات تغذى حمل P_R من خلال شبكة نقل



$$F_1(P) = F_2(P) = 400 + 7P + 0.002\,P^2$$



شكل (5 - 6)

الحل :

من المعادلة رقم (5)

$$L = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \lambda(500 + P_{loss} - P_1 - P_2)$$

$$P_{loss} = 0.0002\,P_1^2$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_1} = \frac{dF_1(P_1)}{dP_1} - \lambda\left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_1}\right) = 0$$

(6)

$$\frac{\partial L}{\partial P_2} = \frac{dF_2(P_2)}{dP_2} - \lambda\left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_2}\right) = 0$$

$$P_1 + P_2 - 500 - P_{loss} = 0$$

بالتعويض في المعادلة (6)

$$7 + 0.004\,P_1 - \lambda(1 - 0.0004\,P_1) = 0$$

$$7 + 0.004\,P_2 - \lambda = 0$$

$$P_1 + P_2 - 500 - 0.0002\,P_1^2 = 0$$

$$\therefore P_1 = 178.882 \quad MW$$

$$P_2 = 327.496 \quad MW$$

تكلفة الانتاج $F_1(P_1) + F_2(P_2) = 4623.15$ R/h

Losses = 6.378 MW

(ملحوظة :المقصود R انها وحده ليست محدده نتيجة التغيرات العالمية لإنتاج الكهرباء)

ثالثا : تخفيض مفقودات الخطوط

تعتمد مفقودات القدرة على مستوى جهد الشبكة الكهربائية فمثلا :

* بشبكات الجهد الفائق فأن نسبه مفقودات القدرة تكون 0.5%
* بشبكات الجهد العالى فأن نسبه مفقودات القدرة تكون 1.25%
* بشبكات النقل الفرعية فأن نسبه مفقودات القدرة تكون 2.0%

ويعتمد تخفيض المفقودات على العناصر الآتية:

- مقاومة الموصل
- التيار المار بالخطوط
- أعمال الصيانة

يوضح جدول (5-6) ملخص لكيفية تخفيض مفقودات الخطوط

جدول (5-6) كيفية تخفيض مفقودات الخطوط

عنصر تخفيض الفقد	وسيلة التخفيض	الاحتياجات	عيوب استمرار النظام القديم
المقاومة R	استخدام موصلات ذات أحجام أكبر	- فى الانشاءات الجديدة يوصى باستخدام موصلات ذات أحجام أكبر	- ارتفاع مفقودات النحاس
التيار I	زيادة مستوى الجهد	- محولات توزيع جديدة - عازلات جديدة - أحيانا أعمدة جديدة - احتمال موصلات جديدة	- الاحتياج إلى تكثيف صيانة - عدم تحمل المكونات لنمو الأحمال
	تحسين مستوى الجهد	- استخدام منظمات - تركيب مكثفات قوى - اعادة تنظيم فتحات الشبكة الكهربائية - اتزان الأحمال	
	اتزان الأحمال	اجراء قياسات موقعية دورية لتحديد المتسبب فى عدم اتزان الاحمال	- مرور تيار بمسارات التعادل - زيادة المفقودات
الصيانة	نظافة العازلات		
	التربيطات الكهربائية الجيدة		

الباب السابع
فقد الكورونا
Corona Loss

فقد الكورونا (أو التفريغ الهالى) والتسريب
(Leakage and corona discharge loss)

نتيجة التفريغ الكهربى على سطح الموصل الكهربى، وبالقرب منه، يظهر توهج أزرق - ارجوانـــى والذى يعرف بالهاله (corona) وذلك عندما يبلغ فرق الجهد بين سطح الموصل والعازل المحيط به قيمة محددة (حرجه) ..

عـــند تأين الهواء المحيط بالموصل يحدث تفريغ هالى (corona discharge) حول الموصـــل وذلـــك عندما يزيد تدرج الجهد عند سطح الموصل عن قيمة معينة ٠ تؤدى هذه الظاهرة عادة إلى فقد في الطاقة الكهربائية المنقولة.

يـــؤدى التفريغ الهالى والتسريب إلى مفقودات نتيجة تسرب التيارات إلى الأرض خلال الاشـــعاع (radiation) أو خـــلال المـــادة العازلـــة (insulation) للموصلات على التوالى. توجد طرق متعددة لحساب فقد الكورونا سنعرض منها الآتي:

الطريقة الأولى:

المعادلة التالية توضح فقد التفريغ الهالى والتسريب:

$$P_V = \frac{U^2}{R_a} \qquad KW / Km \qquad (1)$$

حيث

P_V = Power loss due to leakage and corona discharge in KW / Km per 3-phase system

= KW / Km فقد القدرة الراجع إلى التفريغ الهالى والتسريب بوحدة للثلاثة أطوار بالنظام

U = operating voltage in KV (between lines)

= جهد التشغيل بوحدة KV (الجهد بين الخطوط)

R_a = Leakage and corona discharge resistance (in KΩ.Km/phase)

= مقاومة التفريغ الهالى والتسريب (بوحدة KΩ.Km لكل طور)

(وهى نفس مقاومة التوازى المؤثرة بالدائرة المكافئة للخط الهوائى)

نحصل على قيمة R_a من شكل (7-1)

الطريقة الثانية:

تحـدث الكورونا عندما يتعدى الاجهاد الكهروستاتيكى (electrostatic stress)، فى الهواء حول الموصل، القيمة: 30 KV (max.) / cm أو 21.1 KV (rms) / cm

نحصـل علـى الجهـد الحـرج المبدد الفعال مع التعادل (effective disruptive critical voltage to neutral) من المعادلة التالية:

$$V_c = m_o\, g_o\, \delta\, r\, \log h\, D/r \qquad \text{KV/phase}$$
$$= 2.3\, m_o\, g_o\, \delta\, r\, \log_{10} D/r \qquad \text{KV/phase} \qquad (2)$$

حيث

m_o = irregularity factor

= عامل عدم الانتظام والذى يعتمد على حالة سطح الموصل

D = distance between conductors in cm

= المسافة بين الموصلات (بوحدة سنتيميتر)

r = radius of conductor in cm (or the radius of the circumscribing circle in stranded cable)

= نصف قطر الموصل بوحدة سنتميتر (أو نصف قطر الدائرة المحيطة للكابل المجدول)

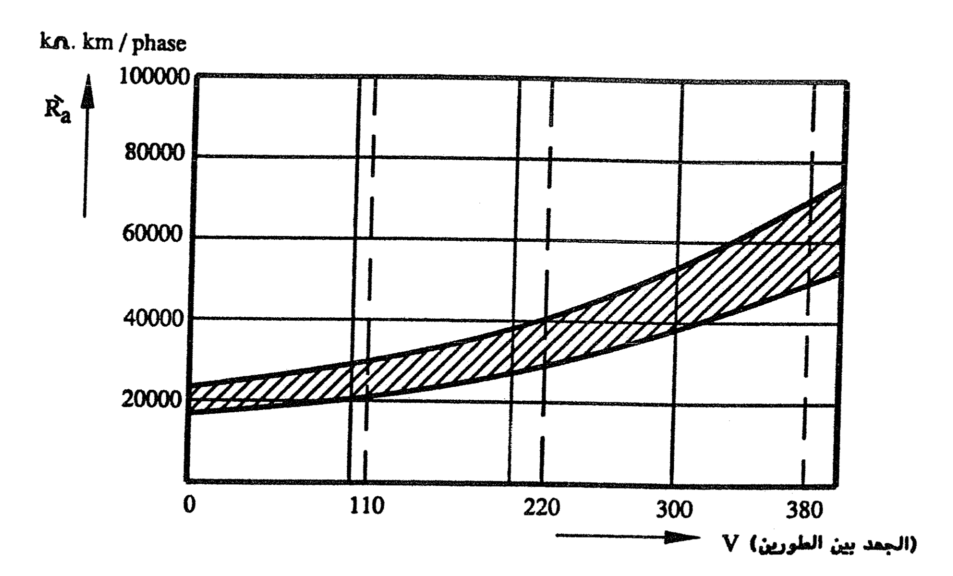
g_o = breakdown strength or disruptive gradient of air at 76 cm of mercury at 25°C

= شدة الانهيار أو التدرج المتبدد للهواء عند ضغط هواء 76 cm زئبق ودرجة حرارة 25°C

= 30 KV (max.) / cm = 21.1 KV (rms) / cm

δ = air density factor = عامل كثافة الهواء

$$= \frac{3.92b}{273 + t}$$



شكل (1 - 7) مقاومة التفريغ العالى و التسريب

b = barometric pressure in cm of Hg

= ضغط بارومترى بوحدة السنتميتر من الزئبق

t = temperature in degrees centigrade

= درجة الحرارة (درجة مئوية)

بالتعويض بقيمة g_o بالمعادلة رقم (2) نحصل على

$V_c = 21.1\ m_o\ \delta\ r\ \text{logh}\ D/r$ KV/phase

$= 48.8\ m_o\ \delta\ r\ \log_{10} D/r$ KV/phase (3)

حيث:

$$\text{logh} = 2.3 \log_{10}$$

يعتمد عامل عدم الانتظام (m_o) على شكل مقطع السلك وحالة السطح.

هـذا العـامل يسـاوى الوحـدة لسـلك ناعم بالكامل يتكون من حزمة مجدولة واحدة (strand) ذى مقطـع دائرى.. بينما يقل هذا العامل عن الوحدة للأسلاك ذات السطح الخشن.. كما هو موضح فى جدول (1-7)

جدول (1-7) أمثلة لقيم عامل عدم الانتظام

النوع	عامل عدم الانتظام (m_o)
أسلاك مصقولة (Polished wires)	1.0
أسلاك مكشوفة (Weathered wires)	0.93 : 0.98
كابلات ذات 7 جدلات متحدة المركز (7-strand cables, concentric lay)	0.83 : 0.87
كابلات ذات أكثر من 7 جدلات (Cable with more than 7-strand)	0.80 : 0.85

الجهد الحرج البصرى (visual critical voltage)

هذا الجهد أكبر من الجهد الحرج المبدد الفعال (V_c) والذى يؤدى إلى ظهور الكورونا على طول الخط. ونحصل على هذا الجهد من العلاقة العملية الآتية:

$$V_V = 21.1\ m_o\ \delta\ r \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta . r}}\right) \text{logh } D/r \qquad KV/phase$$

$$= 48.8\ m_o\ \delta\ r \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta . r}}\right) \log_{10} D/r \qquad KV/phase \qquad (4)$$

يـؤدى ظهـور الكورونا إلى حدوث طاقة مبددة. هذا الفقد له بعض التأثير على كفاءة الخـط ولكن ليس له مقدرة التأثير على تنظيم جهد الخط. يتأثر هذا الفقد بحالات الخط وحالة الجو المحيط. بعد الوصول إلى الجهد الحرج، تزيد مفقودات الكورونا مع مربع الجهد الزائد. نحصل على الفقد نتيجة الكورونا من العلاقة العملية التالية:

$$P = 241 \frac{(f+25)}{\delta} \left(\frac{r}{D}\right)^{1/2} (V - V_C)^2 * 10^{-5} \qquad KW / Km / phase \qquad (5)$$

حيث:

V = kilovolt to neural

= جهد الخط / التعادل بوحدة ك.ف

f = frequency of the a.c in Hz

= تردد التيار المتغير بوحدة Hz

ونحصل على الفقد الكلى كالآتى

$$P_t = 3\ P$$

عيوب ظاهرة الكورونا

1- تسـبب فقـد قدرة واضح على الرغم من أنها غير هامة إلا فى حالة الأجواء غير العادية مثل الرياح الشديدة.

2- تسبب تآكل وصدأ نتيجة تشكيل الأوزون [1] (ozone).

3- يكون للتيار المسحوب بالخط نتيجة مفقودات الكورونا خصائص غير جيبية تحتوى علـى التوافقـية الثالـثة (third harmonic) والـتى تسـبب تداخل فى دوائر الاتصالات.

عموما:

لتخفيض مفقودات الكورونا تستخدم موصلات مصقولة ذات مقطع كبير.

---

(1) الأوزون : هو شكل تآصلى للأكسجين جزيئه ثلاثى الذرة ٠

الباب الثامن

الفقد فى المحولات

Transformers Losses

خصائص مفقودات المحولات Loss characteristics of transformers

يوضح شكل (1-8) تصنيف المفقودات بالمحول ويوضح شكل (2-8) تمثيل للمفقودات الأساسية للمحول وفيما يلي تعريف لكل صنف :

1 – فقد الحمل (load loss)

هو مجموع مفقودات النحاس والمفقودات الشارده

ويراعي الملاحظتين الآتيتين :

أ – مازال يستخدم تعبير " فقد النحاس" للإشارة إلي مفقودات مقاومة مادة الملفات سواء كانت الملفات من النحاس أو الالومنيوم ٠

ب – مازال يستخدم أحيانا تعبير " فقد النحاس " للإشارة الى فقد الحمل وهذا يعني ان فقد التيارات الشارده محسوب ضمنيا

(1-1) فقد النحاس (Copper loss)

يخلق مرور تيارات الحمل في مقاومات الملفات الثانوية والابتدائية المفقودات $I^2 R$ والتي تسبب سخونة الملفات وتحدث هبوط في الجهد (voltage drop) . هذه المفقودات تعرف بمفقودات النحاس(سواء كانت الملفات من النحاس او الالومنيوم)٠ يوضح شكل (3 - 8) تمثيل لمفقودات النحاس وفيه تكافئ R_1 مقاومة الملفات الابتدائية والثانوية .

(1-2) المفقوادت الشارده : (Stray loss)

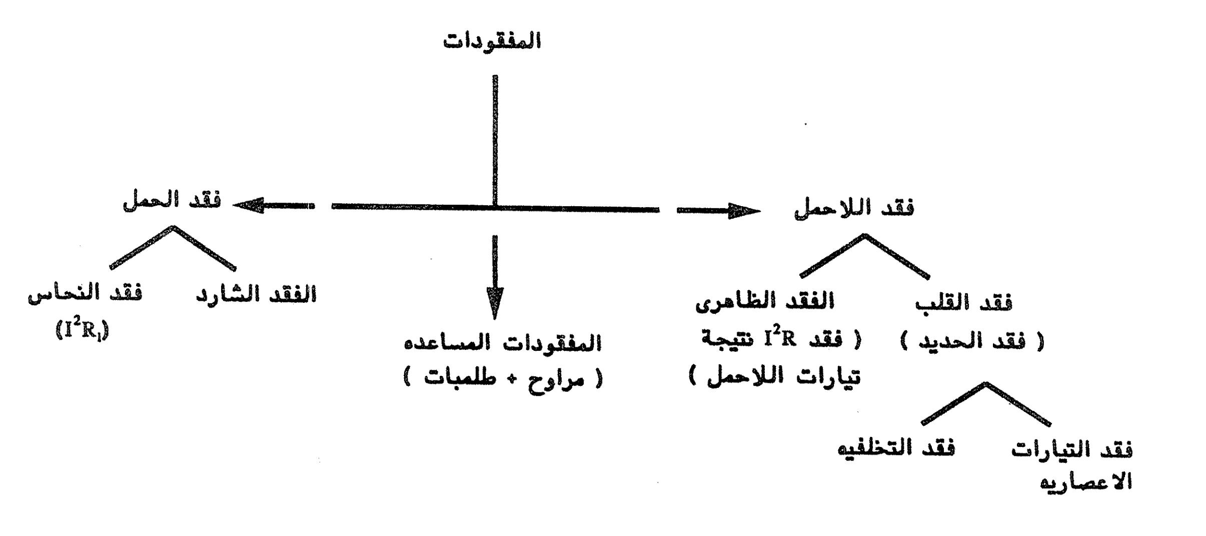
يوجد عاملان يشاركان في هذا الفقد هما :

• السعويه الشارده (stray capacitance)

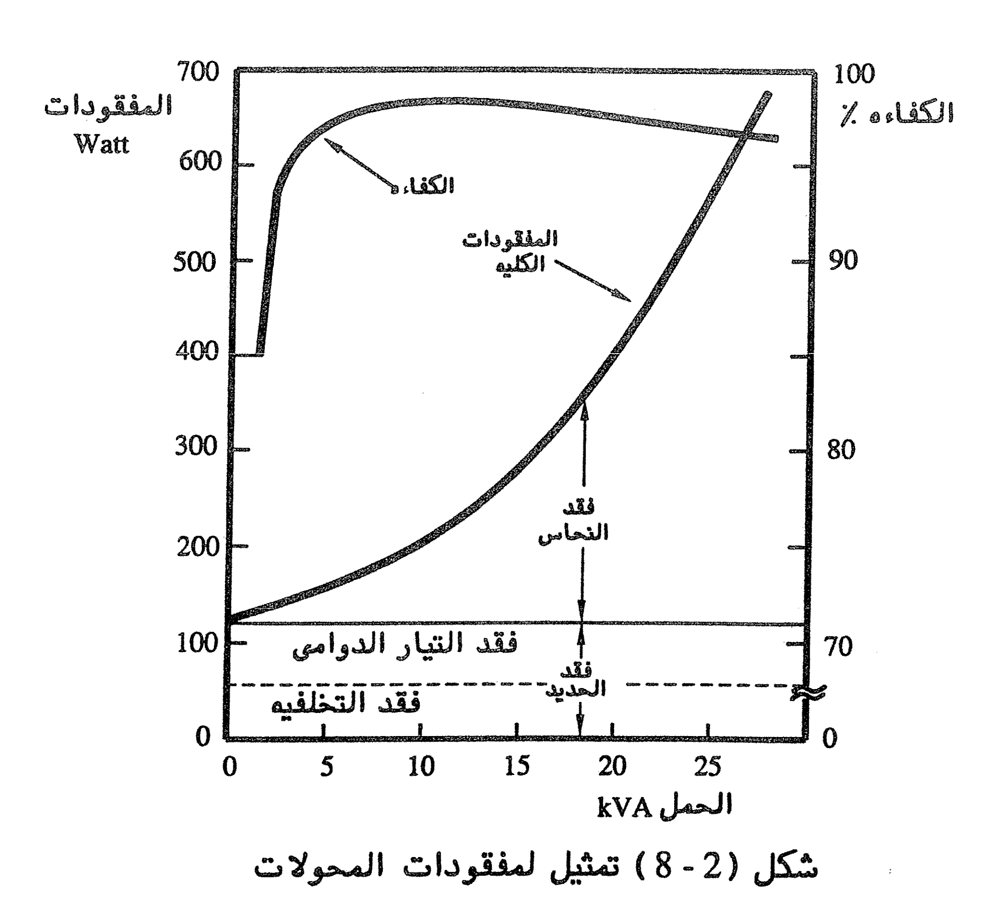
و هي سعويه غير مرغوب فيها بين اللفات او بين الملفات او بين الملفات والقلب الحديدي او مع الخزان .

• محاثه التسرب (leakage inductance)

هى المحاثه التى يلاقيها التيار المتسرب (Leakage current) عبر مسار التسرب تحدث المفقودات الشارده فى المحول نتيجة تسرب المجال المغناطيسي او الكهربي أو تسرب التيار الي مسارات غير مرغوب فيها (تحيد عن المسارات الاصليه لهذه المجالات) .



شكل (1 - 8) تصنيف مفقودات المحول



شكل (2 - 8) تمثيل لمفقودات المحولات

2 – فقد اللاحمل (No – load loss)

يتكون فقد اللاحمل من فقد القلب (أو فقد الحديد) و الفقد الظاهري كما هو موضح في شكل (4 – 8)

(2- 1) فقد القلب (أو فقد الحديد) (iron loss) core loss

يصبح فقد القلب هاما في حالات عدم تحميل المحول أو التحميل المنخفض أو وضع جهد علي المحول بدون تغذيه أيه أحمال أو حاله تشـغيل المحول عند عامل حمـل (load factor) منخفض ٠

يحدث نتيجه تغير الفيض مع الزمن مفقودات في المواد المغناطيسية ، هذا الفقد يعرف بمفقودات القلب ، والذي ينقسم الي مفقودات التخلفيه و مفقودات التيارات الاعصاريه

(2 -2) الفقد الظاهري (apparent loss)

هذا الفقـد راجع الي تيـارات المغنطة [1] (magnetizing current) الماره من الملفات الابتدائية ٠

يخلق تيار المغنطه المار في مقاومة الملف فقد حقيقي I^2R ويحدث هبوط في الجهد (voltage drop) ، وقيمه هذا الفقد صغيره جدا

3 – المفقودات المساعدة (auxiliary losses)

تحتوي المحولات ذات القـدرات الكبيرة علي مراوح لنظـام التبريد بالهـواء وعلي طلمبات لنظام التبريد بالزيت المدفـوع ٠٠٠ هذه المـراوح و الطلمبـات تسـبب المفقـودات المساعدة.

وفيما يلى توضيح لهذه المفقودات

---

(1) تيار المغنطة : هو التيار المار خلال الملفات الابتدائية لمحول قـدره عنـدما تكـون الملفات الثانوية غير موصله بأى أحمال (أي في حاله فتـح دائره الملفات الثانوية) يعمل هذا التيار علي إنشاء المجال المغناطيسي في قلب المحول وتوليد الطاقة الكهربية اللازمة لتعويض ما يفقده من قدره في حاله اللاحمل.

أ- مفقودات التيارات الاعصاريه Eddy - current losses

يوضح شكل(5 - 8) مقطع في القلب عندما يكون الفيض الجيبي (Sinusoidal flux) له ميل موجب أي في حاله الزيادة ، تبعا لقانون فارادي (Faraday's law) فان هذا الفيض يحدث جهد في القلب يولد تيارات اعصاريه في القلب و بالتالي حدوث فقد قدره يعرف بفقد التيارات الاعصاريه ... وتنتج سخونه في القلب الحديدى للمحول .

لا يمكن تجنب هذه المفقودات لان الامداد بالطاقة (energization) للقلب تحدث من تيارات متردده (AC) و لكن يمكن تخفيضها .

نحصل علي التيارات الاعصاريه من المعادله :

$$p_e = \frac{vol * \pi^2 * f^2 * \tau^2 * B^2}{6\rho}$$

or

$$p_e = Ke\ f^2\ B^2 \quad watts\ / kg$$

$$vol = w\ \tau\ h$$

حيث

P_e=Eddy current loss = فقد التيارات الاعصاريه

f = frequency (HZ) = التردد (هرتز)

B = magnetic flux density in the magnetic material in Tesla ($B = \mu H$)

= كثافه الفيض المغناطيسى فى المادة المغناطيسية بوحده تسلا

H=magnetic field intensity, measured in ampere–turns per meter

= شده المجال المغناطيسى مقاسه بالامبير لفه/ متر

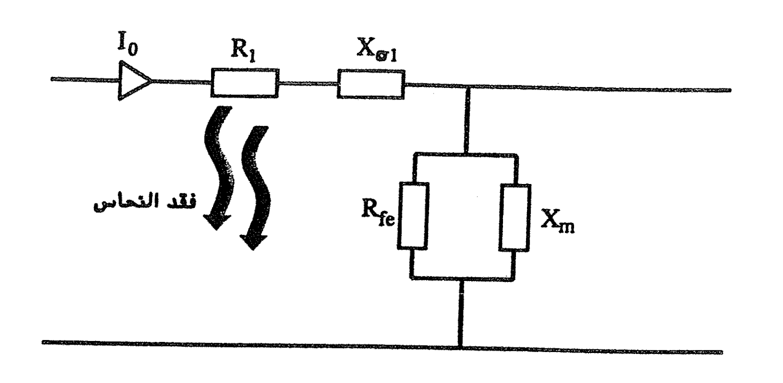
ρ = resistivity = المقاوميه [1]

μ= permeability of magnetic material = ($\mu_o\ \mu_r$)

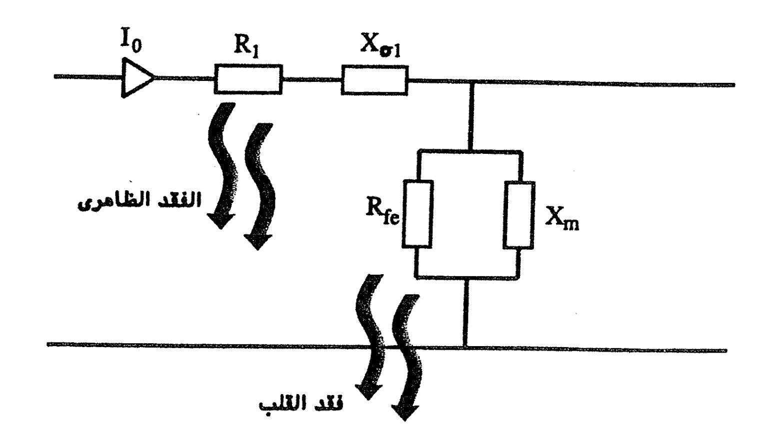
أنفاذيه الماده المغناطيسيه (تساوى $\mu_o\ \mu_r$)

---

(1) المقاومية : المقاومة النوعية (المقاومة الحجميه) للمواد . والمقاومة النوعية لسلك أو موصل ما تساوى حاصل ضرب مقاومة السلك فى مساحة مقطعه مقسوما على طوله .



شكل (3 - 8) تمثيل لفقد النحاس



شكل (4 - 8) تمثيل لمفقودات القلب والفقد الظاهرى

μ_o = permeability of free space
= $4\pi \times 10^{-7}$ Henery / meter
= الانفاذيه [1] في الفراغ الحر

μ_r = relative permeability (for ferromagnetic materials μ_r is 100 to 1000)
الانفاذيه النسبية[2](للمواد عاليه الانفاذيه فان μ_r تكون بين 100 &1000)

K_e = material constant dependent on the resistivity and thickness of the material
= ثابت المادة و الذي يعتمد علي مقاوميه و سمك الماده

Vol =volume of core = $w \tau h$ ={ (8-6) حجم القلب{ يلاحظ الرموز فى شكل

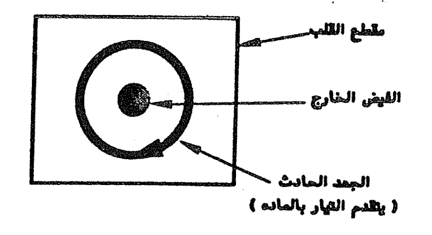
أى أن مفقودات التيارات الاعصارية لكل كيلوجرام من المادة تعتمد على مقاوميه المادة المستخدمة لقلب المحول وعلى التردد وكثافة الفيض ، وحيث ان المفقودات تتناسب مع مربع التيار فانه فى هذه الحالة تعتمد المفقودات على مربع التردد ومربع كثافة الفيض .

من المؤثرات أيضا على فقد التيارات الاعصاريه، سمك القلب ، فإذا نقص مقطع القلب فان المقاومه تزيد مسببه انخفاض التيارات الحادثه والنتيجة انخفاض مفقودات القلب اما بالنسبه لاعتماد الفقد على الوزن بالكيلوجرام فان ذلك يتأثر بالمواد الصلبه المستخدمة ، فاذا استخدم القلب من شرائح رقيقه جدا كما فى شكل (8-7) فانه الفقد ينخفض نتيجة مايسببه من مقاومه أعلى لمسار التيار(وعادة يكون سمك الشرائح من (2 to 10 mils .

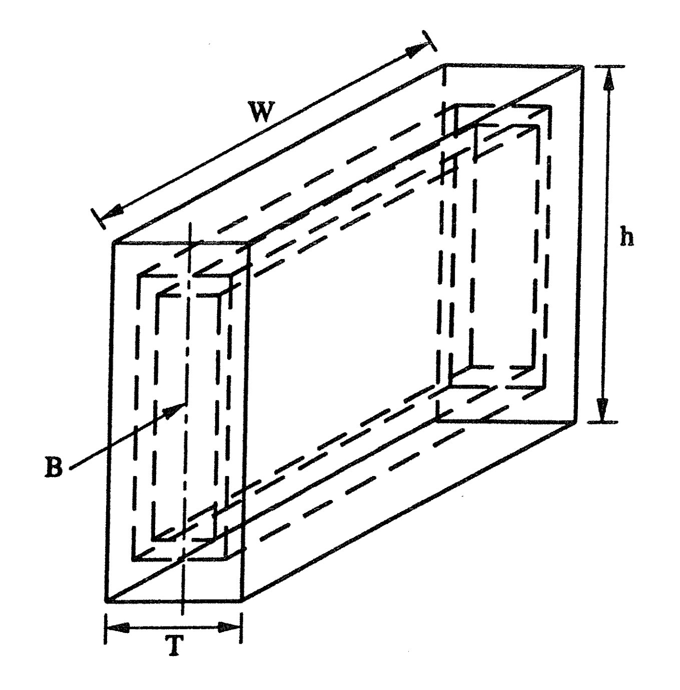
---

(1) الانفاذيه : مقياس لمقدار تقبل وسط ما لمرور خطوط القوى المغناطيسية خلاله. تساوى النسبه بين كثافة التدفق المغناطيسى المتولد فى الوسط وبين القوة الممغنطة المولده له .

(2) الانفاذيه النسبية : هى النسبه بين كثافة التدفق المغناطيس فى وسط ما وبين كثافة التدفق المغناطيسى فى الفراغ ، على ان تكون هاتان الكثافتان ناتجتين عن القوة الممغنطة نفسها .



شكل (5 - 8) مقطع فى قلب المحول



شكل (6 - 8) مقطع من قلب المحول موضحا عليه الطول والعرض والارتفاع

ب- فقد التخلفيه (Hysteresis loss)

يولــد المجال المغناطيسي داخل المحول مغنطة في مادة القلب بإعادة تركيبه الجزيئات المغناطيســية في اتجاه المجال . هذا الفعل لاتجاه مغنطة المادة في اتجاه المجال يؤدى إلي فقد قدره داخل المادة والتي تعرف بفقد التخلفيه .

تعنــي ظاهــرة التخلفيه أن لماده فرومغناطيسيه منحنى BH (وهو منحنى بيانى يبين العلاقــه بين كثافة التدفق المغناطيسى B والقوه الممغنطه خلال دوره كامله) كما فى شــكل (8-8) ٠ يتناســب فقد التخلفيه مع مساحة المنحني BH لكل دوره . عند تردد معيــن فــإن مساحة التخلفيه الأكبر تؤدى إلي فقد أكبر . وعلي ذلك فإن اختيار ماده للقلب لها مسارتخلفى (hysterisis loop) ضيق يؤدى الى أقل فقد قدره ٠

تخضع مفقودات التخلفيه للمعادلة التالية :

$$W_h = V\oint HdB$$

$$P_h = f\ W_h = Vf * \oint HdB$$

$$\oint HdB = \eta\ B^n$$

$$P_h = \eta\ Vf\ B^n_{max}$$

$$\therefore P_h = K_h\ f\ B^{1.5\ to\ 2.5}_{max} \quad \text{watts / kg}$$

حيث

P_h = Hysteresis loss in W/Kg
= (W/Kg فقد التخلفيه (بوحدة

K_h = Constant dependent on the magnetic properties of the material .
= ثابت يعتمد على الخصائص المغناطيسية للمادة

V = Volume = الحجم

نتــيجة الشــكل المعقد لمنحني التخلفيه فإن الفقد لا يتناسب مع B أو مع B^2 ولكن يتناسب مع الحدود من $B^{1.5}$ إلي $B^{2.5}$ اعتماد علي مادة القلب .

لا يــتأثر فقــد التخلفــيه بشرائح معدن القلب ولكن ينخفض فقط باستخدام مواد للقلب مختلفه لها خصائص منحني BH أضيق .

ج-المفقودات المساعده Auxiliary losses

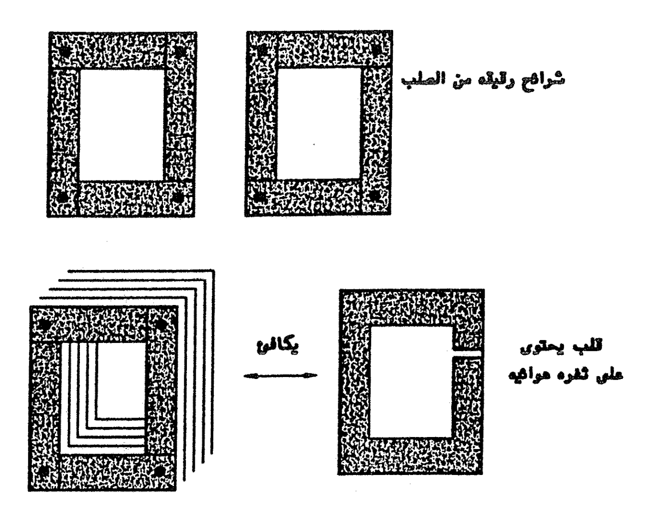
هـي المفقـودات الحادثـه نتـيجه اسـتخدام معدات التبريد بالمحولات مثل المراوح والمضخات بغرض زيادة قدرة تحميل محولات المحطات .

يعـتمد اسـتهلاك الطاقة للمعدات المساعدة علي القدرة الحصانيه (horse power) للمـرواح والمضخات وفترة تشغيلها . وتعتمد هذه الفترة علي تحميل المحولات خلال العام . من الشائع أن تعمل المرواح عندما يصل تحميل المحول إلي 133% من الحمل المقنـن ، ويحـدث التـبريد بواسطة المضخات عندما يصل التحميل إلي 167% من المقنـن المذكـور بلوحـة البـيان للمحـول . تصمم بعض المحولات لتعمل المرواح والمضـخات بصـفة مسـتمرة . بالإضـافة إلـي الأستهلاك الحادث نتيجة المراوح والمضـخات فتوجد مفقودات تصاحب محولات التوزيع التي تخفض الجهد اللازم لعمل المـراوح والمضـخات في بعض محطات المحولات، يحتوي المحول علي ملف ثالث (tertiary winding) والـذى يسـتخدم احيانا لتغذية المعدات المساعدة بالقدرة . ويعتـبر فقـد الملف الثالث جزء من المفقودات المساعدة ، يوضح جدول (1 – 8) المفقودات المساعدة أو الطاقة المستهلكة للمعدات المساعدة تبعا لقدرة المحول .

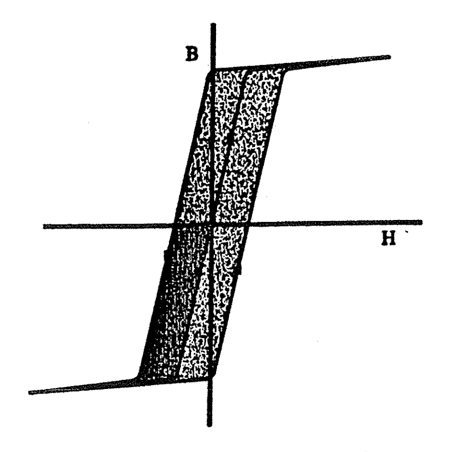
جدول (1– 8) المفقودات المساعده

قدرة محول ثلاثي الطور (MVA)	المفقودات المساعدة (KW)
5	1
10	1
15	2
20	2
25	3
30	4
40	4
50	4
60	5
80	6
100	7

Source : Courtesy of Western Area Power Administration



شكل (7 - 8) القلب مكون من شرائح رقيقه جدا



شكل (8 - 8) منحنى التخلفيه B H

العناصر المؤثرة في مفقودات المحولات

من العوامل الخاصة بالتصميم والمؤثرة في مفقودات المحولات :

1- كثافة الفيض (أو الحث) (Flux density (or induction

هـو معيار التحميل في القلب الحديدي . لكل نوع صلب ممغنط مفقودات قلب ، والتي تتنسـب مباشـره إلـي كثافة الفيض . عند قيمة أعلي من التشبع الحاثى للصلب فإن الفيض سوف يترك القلب ولا يمكن التحكم في مفقودات اللاحمل ...

يجـب الحـد من أقصي كثافة فيض لتكون أقل من نقطة التشبع الحاثى . يتم تحسين كفاءة المحول باختيار صلب له مفقودات أقل ، أو بتخفيض كثافة الفيض في القلب عن طريق زيادة حجم القلب .

2 – كثافة التيار (current density)

أن زيـادة مقطـع موصـلات الملفـات النحاس تخفض كثافة التيار . وذلك يؤدي إلي تحسين كفاءة المحول ولكن تكون اكثر تكلفة .

3- أتزان النحاس / الحديد (iron / copper balance)

يجب مراعاة الاتزان بين الكمية النسبية لكل من الحديد والنحاس في القلب والملفات . للموصـلات الغنية بالنحاس (copper – rich) كفاءة عالية لمدي واسع من تيارات الحمـل . بينما القلب الغني بالحديد (iron – rich) سعر تكلفة أقل والذي يمكن أن يكون اكثر اقتصادا إذا كان حمل المحول منخفض .

لـذا من الأهمية أن يؤخذ في الاعتبار عمل موازنة بين الملفات النحاسية وبين القلب الحديدي للوصول إلي القيمة الاقتصادية للمفقودات .

تطور أنواع مواد القلب وتأثيرها علي المفقودات

1- ألــواح صلــب مــدلفن علي الســاخن (Hot rolled steel sheet)

يحــتوي علــي 3% سيليكون وبدأ في استخدامه منذ عام ١٩٠٠، وعادة تعزل الألواح بطبقات عازلة للحصول علي مفقودات تخلفيه منخفضة ومقاوميه عالية .

2- صلب سيليكوني مُوجه الحبيبات GO (Grain oriented silicon steels)

استخدم هذا الصلب في منتصف 1950 s وصنع بدرجات سمك متعددة تتراوح بين 0.23 – 0.5 mm

3- صلب سيليكوني مُوجه الحبيبات عالى النفاذيه

High permeability grain- oriented steels

استخدم هذا الصلب خلال 1960 s وصنع بدرجات سمك متعددة تتراوح بين 0.23 - 0.3 mm

4- صلب منقى (Domain Refined steels)

- استخدم هذا النوع خلال 1980 sوساعد في تخفيض المفقودات .. حيث أستخدمت شــرائح بســمك 0.23 mm ووصــل بالمفقــودات إلي الحــدود من 1.7 T / 50HZ عند 0.81 – 1.75 W/Kg

5- الحديد غير المتبلور Amorphous iron

باستخدام هذا النوع فإن مفقودات اللاحمل تنخفض بنسبة 70% بالمقــارنة بمفقودات التصميم التقليدي للقلب الحديدي .. وبدأ استخدام هذا النوع تجارياً في أوائل 1980 s .

وحاليا أمكن استخدام شرائح صلب بسمك 0.18 mm لمحولات القدرة الكبيرة .

يوضح شكل (9 – 8) تطور مراحل سمك ألوح صلب القلب الحديدي وقيمة مفقودات القلب المقابلة لكل مرحلة

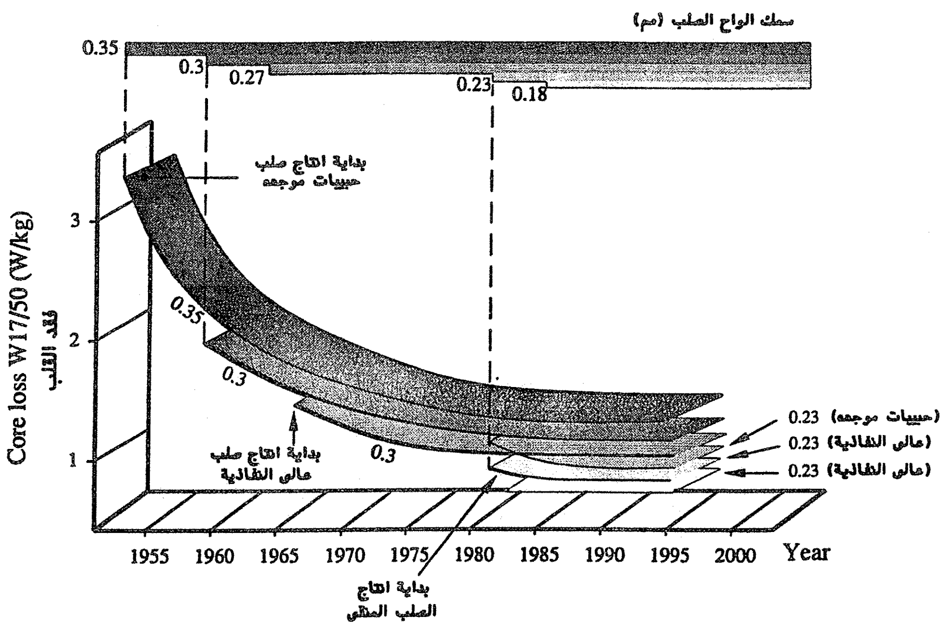
عوامل أخري مؤثرة في فقد المحولات :

1- جهد شبكة الجهد المتوسط (MV network voltage)
تعتمد مفقودات القلب علي جهد الشبكة . فالزيادة في جهد الشبكة يؤدي إلي زيادة مفقودات القلب . فمثلا زيادة 5% في جهد الشبكة يمكن أن يؤدي إلي زيادة نسبة – 10% – 20% في مفقودات القلب ، اعتماد علي نوع مادة القلب وتصميم المحول .

2- درجة حرارة تشغيل المحول (operating temperature)
تزيد مفقودات الموصلات بنسبه بسيطة مع زيادة درجة حرارة تشغيل المحول.
لذا تعرف مفقودات الحمل أو النحاس عند درجة حرارة معينة .

3- تقادم المحول (ageing of the transformer)
تتأثر عوامل متعددة بالمحول نتيجة التقادم ... منها زيادة المفقودات .

4- جودة التغذية السيئة (poor power quality)
يؤدي وجود الأحمال غير الخطية (non- linear loads) إلي تولد مركبات توافقيات التيار بالمحول . والتى تسبب سخونة للمحول ولكن المحولات مصممة لتتحمل بعض توافقيات التيار (لا تتعدى التوافقيات الكلية للتيار 5% عند الحمل الكامل للمحول)



شكل (9 - 8) تطور مراحل انتاج سمك الواح صلب القلب الحديدى

ارتفاع درجة حرارة المحول

مما سبق يتضح أن العوامل الآتية تؤثر في قيمة الفقد الحراري (heat loss) الكلي بالمحول :

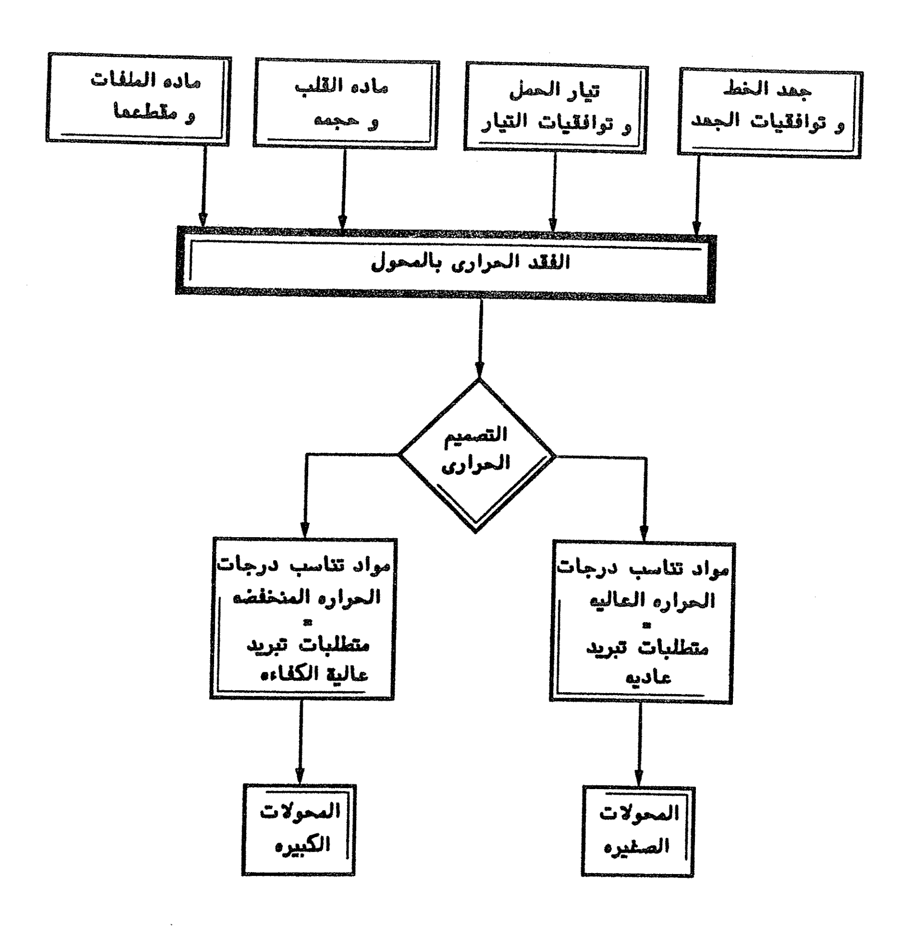
- نوع صلب القلب .
- سعة الملفات .
- مقاومة المحول .
- تيار التسريب .
- كمية الصلب وتصميم الملفات .

يسبب الفقد الحراري زيادة درجة حرارة المحول . ولكن بتصميم نظم التبريد للمحول واختيار المواد المناسبة تنخفض درجات الحرارة .

باســتخدام مواد اقل تكلفة مع مقتن درجات حرارة منخفضة يتطلب تصميم نظام تبريد وسريان هواء عالي الكفاءة كما في المحولات الكبيرة ٠

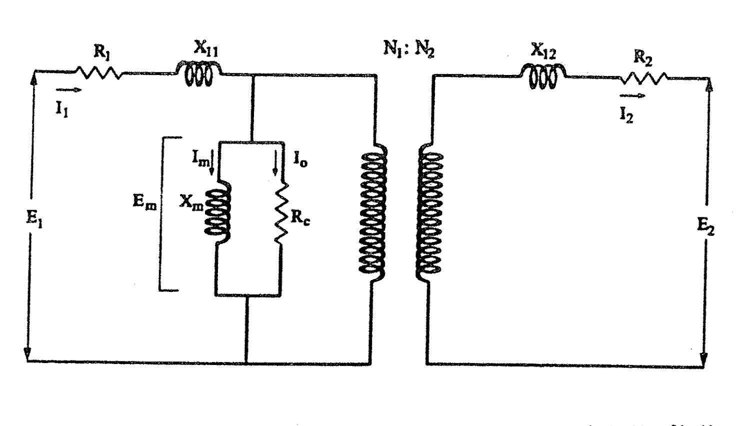
أو باستخدام مواد عالية الكفاءة والسماح لمقتن درجات حرارة عالية كما في المحولات المدمجة (compact)

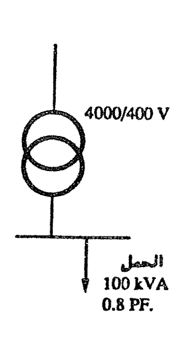
يوضح شكل (10 – 8) العناصر المؤثرة في الفقد الحراري للمحول ٠



شكل (10 - 8) العناصر المؤثره فى الفقد الحرارى بالمحولات

مثال (1)





Primary leakage impedance = معاوقة التسرب للملف الابتدائى

$= 0.4 + j\ 1.0\ \Omega$

Secondary leakage impedance = معاوقة التسرب للملف الثانوى

$= 0.04 + j\ 0.1\ \Omega$

Magnetizing impedance = معاوقة المغنطه

$: X_M = j\ 15000\ \Omega$

$R_c = 20000\ \Omega$

أحسب فقد القدرة والكفاءة

الحل :

فقد القدرة = قدرة المدخل – قدرة المخرج

قدرة المدخل $= S_1 = E_1 I_1$

قدرة المخرج $= S_2 = E_2 I_2$

فقد القدرة $= S_1 - S_2$

الكفاءه $= \text{Efficiency} = \dfrac{\text{output real power}}{\text{input real power}} \times 100$

$$= 100 \times \frac{\text{الجزء الحقيقى من قدرة المخرج}}{\text{الجزء الحقيقى من قدرة المدخل}}$$

$$E_2 = 400 + j\,0 \quad \text{volt}$$

Load = 100 KVA at 0.8 PF

$$= S_2 = 100 \cos \varnothing + j100 \sin \varnothing$$

$$= (80 + j\,60)\,10^{3} \quad \text{VA}$$

$$I_2 = S_2 / E_2$$

$$= 200 - j\,150 \quad \text{Amp}$$

$$a = \frac{N1}{N2} = \frac{4000}{400} = 10$$

$$\frac{E_m}{a} = E_2 + I_2\,Z_{12} = 423 + j14 \quad \text{volt}$$

$$E_m = 4230 + j\,140 \quad \text{volt}$$

$$I_m = \frac{E_m}{jx_m} = 0.0093 - j0.282 \quad \text{Amp}$$

$$I_c = \frac{E_m}{R_c} = 0.215 + j0.007 \quad \text{Amp}$$

$$I_o = I_m + I_c = 0.22 - j0.275 \quad \text{Amp}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{a} + I_o = 20.2208 - j15.275 \quad \text{Amp}$$

$$E_1 = E_m + I_1\,Z_{11}$$
$$= 4390.8 + j\,336.1 \quad \text{volt}$$

S_1 = Input power

$= E_1\ I_1 = 83653 + j\,73866$ VA

S_2 = output power

$= E_2\ I_2$

$= 80000 + j\,60000$ VA

Power Loss $= S_1 - S_2$

$= 3653 + j\,13866$ VA

الكفــــاءة $= \dfrac{80000}{83653} \times 100 = 95.63\%$

يمكن ايضا حساب الفقد كالاتى :

Real power loss $= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_C^2 R_C$

$= 3653$ watt

Reactive power loss $= I_1^2 x_1 + I_2^2 x_2 + I_C^2 x_m$

$= 13866$ VAR

كفاءة المحولات

تعتمد كفاءة المحولات علي طريقة قطع القلب وترتيب ترصيص مكوناته كما هو موضح فيما يلي :

(1) كفاءة جيدة (Good efficiency)

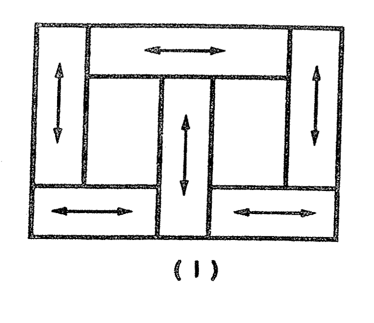
يمكن الحصول علي كفاءة جيده باستخدام " قطع ووصل بالتناكب " (Butt lap cut) وفيها يتكون القلب من قطع مستطيله ، كما في شكل (11– 8) أ بحيث يكون اتجاه حبيبات الصلب في نفس اتجاه مسار الفيض ما عدا الأركان والتي عندها يتغير اتجاه مسار الفيض من السيقان (legs) إلي الفك (yolk)

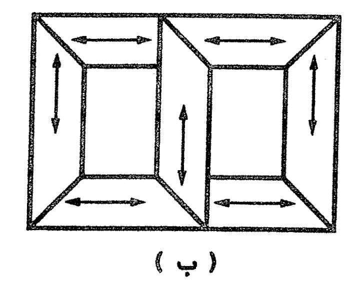
(2) كفاءة احسن (Better efficiency)

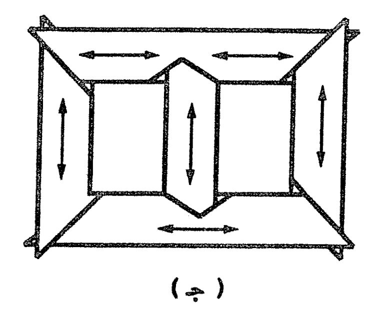
يتم الحصول علي كفاءة أفضل باستخدام " قطع مائل (Scrap – less Mitre cut) حيث يتم قطع الصلب على زاوية 45 ° ، كما في شكل (11 – 8) ب بحيث يكون اتجاه حبيبات الصلب في نفس اتجاه مسار الفيض حتى في أركان القلب وهذا يؤدي إلي انخفاض مفقودات القلب الحديدي ٠

(3) الكفاءة الأفضل (Best efficiency)

في هذا النوع يقطع القلب ويرصص بحيث يحدث تداخل في الأركان كما في الشكل (11 – 8) ج بحيث يكون مائل ومتعاقب وذلك للحصول علي أفضل اتجاه حبيبات الصلب وانتقال الفيض ، وبتجنب حدوث حشد لخطوط الفيض نحصل علي أفضل مفقودات للقلب الحديدي وبالتالي أفضل كفاءة ٠


(أ)


(ب)


(جـ)

شكل (11 - 8) تنظيم وترتيب القلب الحديدى

تخفيض مفقودات الحمل

- زيادة مقطع موصلات ملفات المحول والتي تؤدي إلي تخفيض مقاومة الموصل وبالتالي تخفيض مفقودات الحمل ، ايضا فإن الموصلات علي شكل الواح (sheet) أو علي شكل شرائط (ribbon) تشارك في تخفيض مفقودات الحمل.
  ولكن من عيوب زيادة مقطع الموصلات زيادة التكاليف وزيادة حجم المحول .
- استخدام الموصلات فائقة التوصيل[1] (superconductor) للملفات عندئذ لا توجد مفقودات الحمل . ما زالت هذه الموصلات مكلفة جدا .
  في عام 1996 صنعت محـولات تـوزيع قـدرة 630 KVA - تبريد بالنيتروجين (nitrogen- cooled) والملفـات من الموصـلات الفائقةً ..
  والتي أطلق عليها محولات الموصلات الفائقة التي تتحمل درجات الحرارة العالية (High Temperature Superconductor Transformer) HTST
  قبل التوسـع في اسـتخدام هذه المحولات خاصة ذات القـدرات الكبيرة فيجب دراسة مستوي القصر بالشبكات الكهربائية .

تخفيض مفقودات اللاحمل :

- زيادة مقطع القلب ، والذي يقلل المجال المغناطيسي بقلب المحول وبالتالي تنخفض مفقودات اللاحمل . وذلك يعني ارتفاع تكلفة المحول ، وزيادة حجم المحول .
- استخدام أنواع الصلب عالي الجودة .
- تقليل سمك شرائح صلب القلب .
- استخدام مادة القلب من النوع غير المتبلور (amorphous) يخفض مفقودات اللاحمل بدرجة عالية

---

(1) موصل فائق : هو موصل من مادة قادرة علي إظهار موصليه فائقه للتيار الكهربي المار فيها .
من أمثلة هذه المواد : ألايريديوم ، الرصاص ، القصدير ، الفاناديوم ، النيوبيوم ، والتنتالوم

الباب التاسع

الفقد فى المحركات

Motors Losses

تعتبر المحركات من الأحمال الهامة التي لا تخلو منها أيه منشأه صناعية أو تجارية أو خدمية ... والتي تتوافر بأنواع متعددة وبقدرات مختلفة..

يوضح شكل (9-1) بعض أنواع المحركات وفيما يلي تعريف بعضها.

- **المحرك الحثي (Induction motor)**

محرك تيار متردد له عضو ساكن وعضو دوار، تغذي الملفات الابتدائية (ملفات العضو الساكن) بمصدر تيار متردد يحدث مجال دوار ... ويتولد بالحث تيار كهربائي في الملفات الثانوية (ملفات العضو الدوار) والذي ينشأ عنه العزم اللازم لدوران المحرك.

- **محرك قفص سنجابي (squirrel - cage motor)**

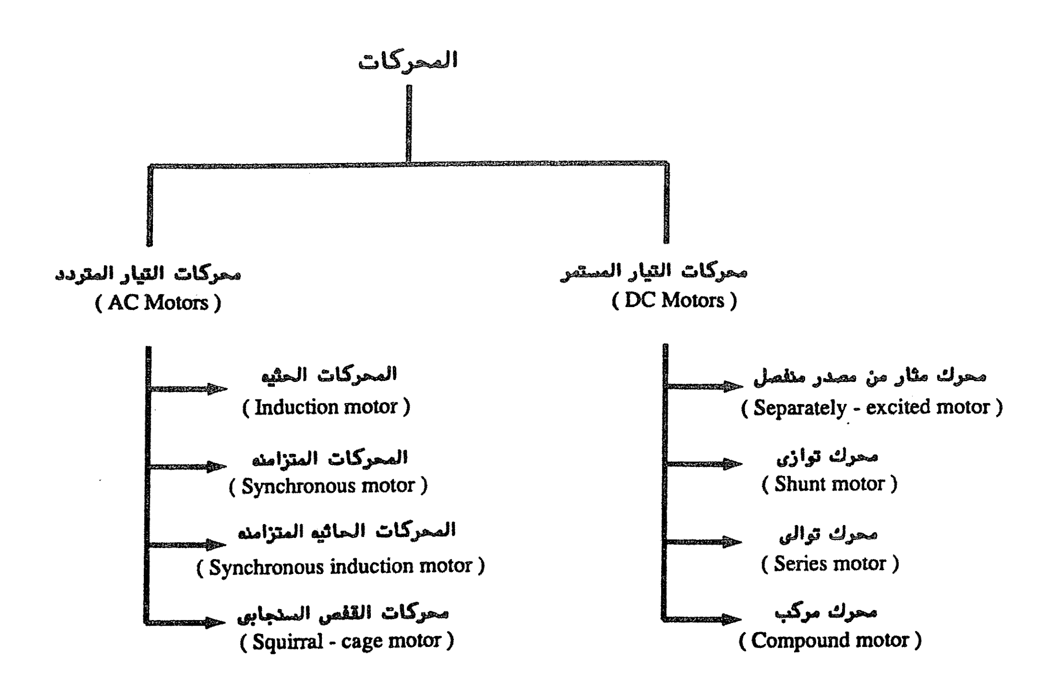
محرك حثي له عضو دوار علي هيئة قفص السنجاب، من أكثر أنواع محركات التيار المتردد شيوعا واستخداما، من عيوبه إنخفاض عزم الدوران و زيادة شدة التيار عند بداية التشغيل.

- **محرك متزامن (synchronous motor)**

محرك كهربي ثابت السرعة، والتي تعتمد علي تردد مصدر التيار الموصل به المحرك وعلي عدد أقطابه المغناطيسية

- **محرك حثي متزامن (synchronous - induction motor)**

محرك كهربي متزامن يبدأ دورانه كمحرك حثي بحلقات إنزلاق، عندما يصل إلي سرعة الدوران الحثية النهائية تحدث إثارة للملفات الثانوية بتيار مستمر فيدور كمحرك متزامن، يمكن في هذه الحالة تصحيح معامل القدرة للمحرك ليناسب الحمل بضبط تيار الإثارة.



شكل (1 - 9) انواع المحركات

محرك مثار من مصدر منفصل (separately - excited motor)

محرك تيار مستمر يتوفر له الإثارة المطلوبة من مصدر خارجي مختلف عنه.

- **محرك بملف علي التوازي (shunt - wound motor)**

محــرك تــيار مستمر فيه توصل ملفات مغناطيسية المجال علي التوازي بملفات عضو الإنتاج.

- **محرك بملف علي التوالي (series - wound motor)**

محرك تيار مستمر فيه توصل ملفات المجال علي التوالي بملفات عضو الإنتاج.

- **محرك توالي (series motor)**

محرك تيار متردد احادي الطور أو ثلاثي الطور بمبدل من خصائصه إنخفاض السرعة بزيادة الحمل.

- **محرك بملف مركب (compound - wound motor)**

محــرك تــيار مســتمر، فيه المجالات المغناطيسية ناتجة من مجموعتين من الملفات احدهمـــا متصلة علي التوالي والأخري متصلة علي التوازي بملفات العضو الدوار من خصـــائص تشـــغيل هـــذه النوعية إمكانية ضبطها لتلائم الحمل من حيث عزم الدوران والسرعة.

مفقودات المحركات

تصنف مفقودات المحركات إلي :

- فقد العضو الدوار (Rotor loss)
- فقد العضو الثابت (Stator loss)
- المفقودات الشاردة (Stray losses)
- فقد القلب (Core loss)
- مفقودات الاحتكاك واحتكاك الهواء (Friction and windage losses)

تمثل مفقودات العضو الدوار والعضو الثابت بالمفقودات الاومية (resistive losses).

تزيد المفقودات الاومية بالملفات بزيادة التيار (الحمل)، وتمثل هذه المفقودات حوالي 35% مــن المفقــودات الكلية. يوضح شكل (2-9) تغير مفقودات المحرك مع الحمل.
تنخفض المفقودات الاومية بزيادة الملفات النحاسية، أو باستخدام مقاطع أكبر للأسلاك، أو تحســين تصــنيع ملفــات النهاية (والتي لاتؤثر في قدرة المخرج ولكن تؤثر في المفقــودات). تــؤدي زيــادة الملفات النحاسية إلي زيادة حجم المحرك أو إلي تقليل الدائــرة المغناطيســية والتي بدورها تؤدي إلي حدوث تشبع (saturation) مبكر، بالإضــافة إلــي زيادة مفقودات الحديد (القلب). والنتيجة ضرورة زيادة طول القلب المغناطيســي وأحيانا القطر. وحيث أن مفقودات النحاس تعتمد علي الحمل فمن المفيد زيادة محتوي النحاس (copper content) عند الاستخدام للأحمال العالية.
يعتبر الصلب المغناطيسي (magnetic steel) من أكثر مكونات المحرك تكلفة وعلي ذلك فإن ايه زيادة في الكمية الكلية المستخدمة تكون غير مرغوبة.
تــتكون مفقــودات الحديــد مــن نوعين هما فقد التخلفية (hystersis loss) وفقد التيارات الدوامية (eddy current loss).
يــرجع فقــد التخلفــية إلــي الخصائص اللاخطية (non-linearity) لمنحني القوة المغناطيســية / وكثافة الفيض (flux density / magnetizing force curve) والــذي يعــتمد علــي خصــائص الصلب نفسه. ولتخفيض فقد التخلفية يجب الاهتمام بخاصيتين هما:

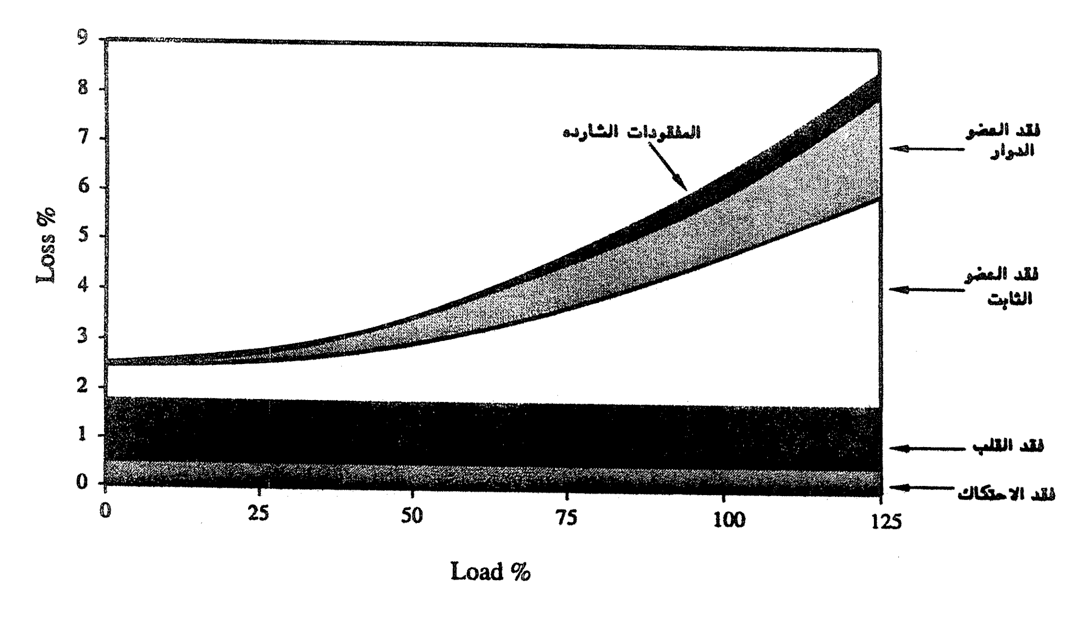
- فقد طاقة منخفض
- وانفاذية [1] مجال (field permeability) عالية وجيدة..

أي يجــب أن يكــون للصلب قابلية سهلة للمغنطة وألا يحدث له تشبع عند كثافة فيض عالية حتي 1.8 تسلا [2]

---

(1) الانفاذية : هي مقياس لمقدار تقبل وسط ما لمرور خطوط القوي المغناطيسية خلالها.وهى تساوي النسبة بين كثافة التدفق المغناطيسي المتولد في الوسط وبين القوة الممغنطة المولدة له.

(2) تسلا (tesla) : هي وحدة كثافة التدفق المغناطيسي في نظام الوحدات الدولية. وهي عبارة عن وبر/متر مربع. وتساوي 10^4 جاوس.



شكل (2 - 9) تغير الفقد مع الحمل للمحركات التقليديه النموذجيه

يــرجع فقد التيارات الدوامية (eddy current loss) إلي التيار الحادث في شرائح العضو الثابت (stator laminations) والتي يمكن تخفيضها بإستخدام شرائح ذات سمك صغير والتأكد من جودة العزل بين الشرائح المتقاربة.

عمومـــا تكون تكلفة الشرائح الأقل سمكا مرتفعة ويصعب تداولها ولذا يفضل ويوصي بإستخدام السمك الإقتصادي صناعيا وتصبح الفائدة من تحسين الصلب المغناطيسي هو تخفيض الفقد خلال جميع فترات التشغيل .. ولكن تمثل مفقودات الحديد قيمة ملحوظة عند الأحمال المنخفضة ..

يســاعد التصـــميم الحــراري الجيد (Thermal design) علي منع النقاط الساخنة (hot spots) داخــل المحرك ولذا فإن تخفيض المفقودات والتصميم الحراري الجيد يؤديا إلي تخفيض درجات حرارة التشغيل وبالتالي إطالة عمر التشغيل.

عــاده يــبرد المحــرك بدفع الهواء خلال الملفات عن طريق مراوح، فالتصميم الجيد للعضو الدوار (rotor) يخفض فقد إحتكاك الهواء (windage loss).

يمكن أن تزيد مفقودات الحديد (Iron losses) نتيجة للعناصر التالية :

- حدوث إنهيار ميكانيكي للقلب (Mechanical damage to the core)
- إنهيار حراري للقلب (Thermal damage to the core)
- التغيرات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic changes)

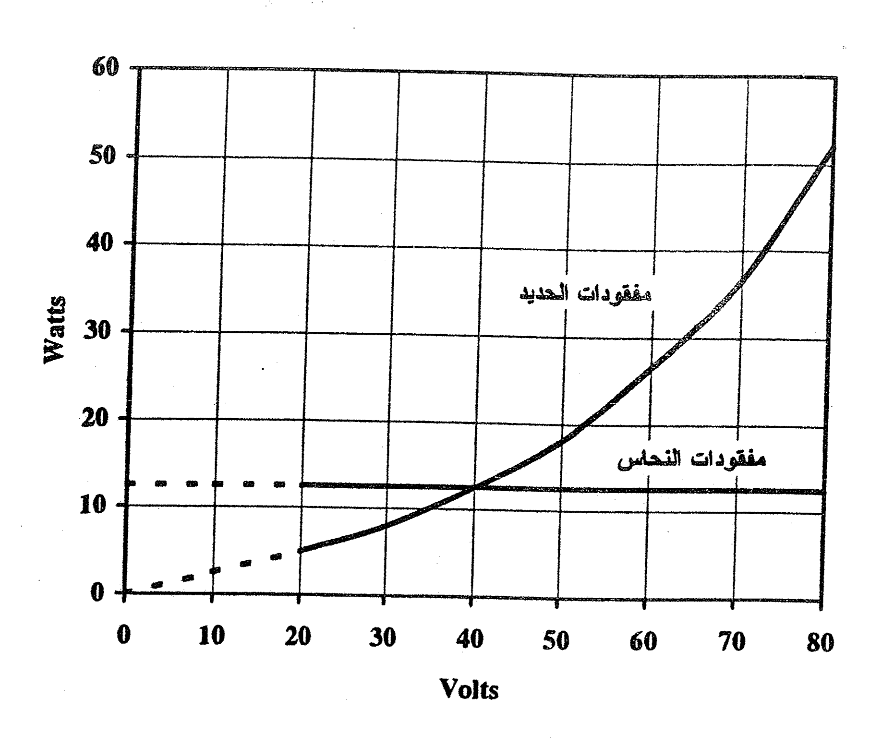
كذلـــك تتغــير مفقودات الحديد مع تغير جهد المصدر كما هو واضح في شكل (3-9).

تســبب الاجهادات الميكانيكية زيادة فقد التخلفية بينما يؤدي انهيار العزل بين الطبقات المتجاورة للملفات إلي زيادة فقد التيارات الدوامية.

فـــي الكثـــير من المحركات التأثيرية تكون مفقودات النحاس للعضو الثابت (Stator copper losses) أكبر المفقودات... كذلك تزيد المفقودات عند إعادة لف المحرك..

من الإعتبارات الهامه عملية اتحاد المركز (concentricity) لكل من العضو الدوار والعضو الثابت والتي في حالة عدم تحققها تؤدي إلي انهيار بالمحرك.

تعتمد كفاءة المحرك علي مجموع المفقودات الكلية ... وتتغير الكفاءة مع التحميل.



شكل (3-9) تغير مفقودات الحديد للمحركات
مع جهد المصدر

معامل قدرة المحرك

عند دوران المحرك التأثيري فى حالة اللاحمل (idling) أو عند حمل منخفض، فإن التـيار المسـتهلك يحدث مجال مغناطيسي بالعضو الثابت (stator)، وتصبح الدائرة المكافـئة للمحـرك ممثلة بملف (inductor)، أي تكون زاوية تيار المغنطة حوالي 90^0 بالنسـبة لجهـد المصـدر...و يصاحب تحميل المحرك زيادة تيار العضو الثابت وبالتالي زيادة التيار الكلي كما في شكل (9-4).

كلما زادت قيمة تيار الحمل (I_L) كلما زاد التيار الكلي I_T ...هذا يؤدي إلي تحرك I_T في اتجاه عكس دوران عقارب الساعة أى تحسين معامل القدرة.. بينما عند دوران I_T في اتجاه عقارب الساعة فإن معامل القدرة ينخفض..

لتحسـين معامل قدرة المحرك يضاف مكثف علي التوازي.. يوضح شكل (9-5) تأثير تركيـب المكثف.. ويلاحظ أن تيار الحمل (I_{Load}) أقل من تيار المغنطة I_M مما يعني انخفاض مفقودات مصدر التغذية...

يوضح جدول (9-1) معامل قدرة وكفاءة محرك 30 KW

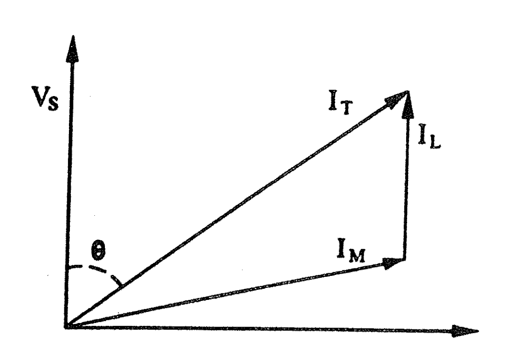
بينما يوضح جدول (9-2) معامل قدرة وكفاءة محرك 185 KW

يبيـن شكل (9-6) تغير كفاءة المحرك مع التحميل لكل من المحرك التقليدي والمحرك ذي الكفاءة العالية (قدرة المحرك 75 KW)

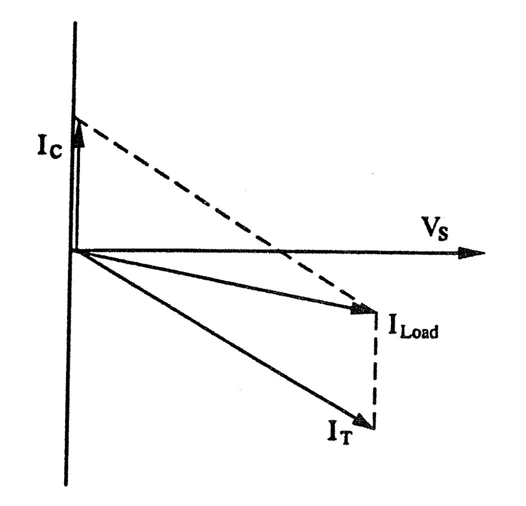
الخلاصة

لتخفيض مفقودات المحركات :

- استخدام مكثفات تحسين معامل القدرة
- استبدال المحركات التقليدية بالمحركات عالية الكفاءة
- عند الإنشاءات الجديدة نستخدم محركات عالية الكفاءة



شكل (4-9)الرسم الاتجاهى لتيارات
محرك تأثيرى محمل



شكل (5-9) تأثير تركيب المكثف (I_c)

جدول (1-9) معامل قدرة وكفاءة محرك 30 KW

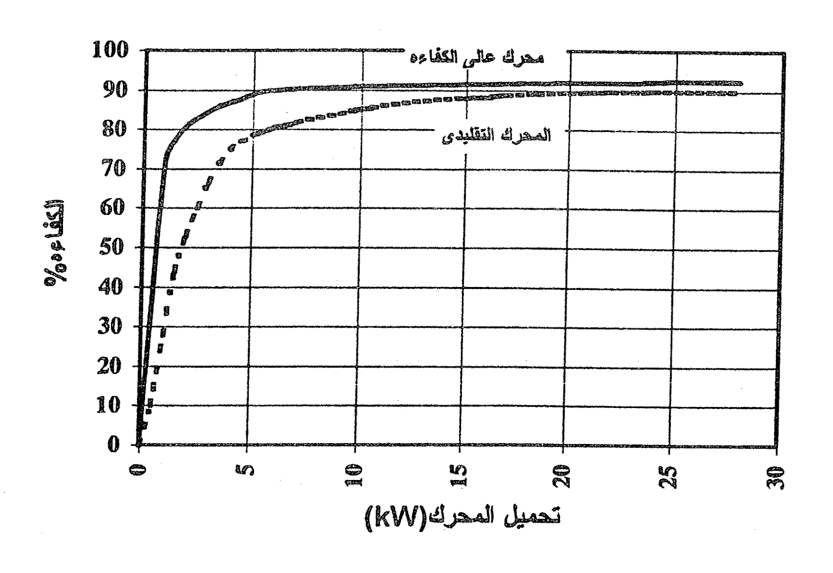
مقنن المحرك	30 KW, 1470 rpm, 4 pole
الحمل الفعلى للمحرك (متوسط)	¾ Load, 22.5 KW
دورة تشغيل المحرك	2000 hr / year (≈ 40 hr / week)

	الكفاءه %				معامل القدره			
نسبة من الحمل الكامل	100	75	50	25	100	75	50	25
محرك عالى الكفاءة وموفر للطاقة Energy-efficiency motor	93.4	93.9	94.0	91.7	0.882	0.866	0.840	0.693
محرك تقليدى Standard motor	90.9	90.6	89.6	84.4	0.876	0.838	0.766	0.584

جدول (2-9) معامل قدره وكفاءة محرك 185 KW

مقنن المحرك	185 KW, 1475 rpm, 4 pole
الحمل الفعلي للمحرك	185 KW
دورة تشغيل المحرك	2000 hr / year (≈ 40 hr / week)

	الكفاءة %				معامل القدرة			
نسبة من الحمل الكامل	100	75	50	25	100	75	50	25
محرك عالى الكفاءة وموفر للطاقة Energy-efficiency motor	95.5	95.4	94.6	91.4	0.93	0.905	0.87	0.79
محرك تقليدى Standard motor	94.1	93.9	92.9	88.5	0.924	0.906	0.856	0.78



شكل (6 - 9) تغير كفاءه المحرك مع التحميل
(لمحرك 75kW)

الباب العاشر

الفقد فى التيارات الدواميه وظاهرة السطح وظاهرة التقاربيه

Proximity effect, Skin effect, and Eddy current losses

التيارات الدواميه هي تيارات كهربائية تتولد بالحث فى دائرة مقفله موضوعه فى مجال مغناطيسى متغير. هذه التيارات ينتج عنها فقد على هيئة حراره متبدده.

عنــد مرور تيارات كهربائية متــردده (AC) فى موصــل تحدث ظاهــرة السطح (skin effect) وهــى عبارة عن ظاهــرة كهــرومغناطيسية تؤدى إلى عدم انتظام توزيــع التــيار، خلال مقطعه بحيث تزيد كثافة التيار قــرب سطح الموصل عنها عند مركــزه .. نتيجه لميل التيار المتردد الى التركيز فى الطبقه السطحيه للموصل تنشــأ مقاومه تعرف بالمقاومه السطحيه (skin resistance) وهى تزيد بزيادة التــردد المستخدم.

بيــنما عنــد مرور تيار متردد (AC) فى موصلين متوازين، ذى مقطع دائرى، فإن تأثير المجال المغناطيسى الناتج فى موصل على كثافة التيار المار فى الموصل المجاور يعرف بظاهرة التقاربية (Proximity effect). تنص هذه الظاهرة على أنه كلما قل تأثير المجال المغناطيسى المحيط بجزء من أجزاء الموصل زادت كثافة التيار المار فى هذا الجزء. وهذا يفسر زيادة كثافة التيار المار فى الموصلات الخارجية للملفات.

مما سبق يتضح أن ظاهــرة الســطح هى تأثيــر توزيع التيــار بالمجال المغناطيسى للموصل نفسه، وهى تزيد المفقودات .. تشبه ظاهرة التقاربيه ظاهرة السطح ، ولكنها تحــدث نتــيجة التأثير التبادلى للموصلات المتعددة حاملة التيار. يسبب تداخلها توزيع تيار غير منتظم فى الموصلات والذى بدوره أيضا يزيد المفقودات.

تعتبر ظاهرتى السطح والتقاربيه من أكثر مصادر المفقودات فى المحولات وبمكونات نظم التوزيع المتردد (AC) المحتويه على موصلات دائريه منفصله مستخدمه فى مواسير أنبوبيه مغلقه. عموما اذا كانت الظاهرة مرئيه مثل التيارات الدواميه أو مثل إعادة توزيع التيارات .. النتيجة توزيع تيارات غير منتظمه وزيادة المفقودات خلال مقاومه DC.

توضح الاشكال (10-1) & (10-2) توزيعات التيار فى حالة ظاهرة السطح بينما توضح الاشكال (10-3) & (10-4) & (10-5) توزيعات التيار فى حالة ظاهرة التقاربيه عند مرور التيار فى نفس الاتجاه وفى عكس الاتجاه...

تعتبر ظاهرة التقاربيه أكثر خطوره من ظاهرة السطح، وتحليل مفقودات التيار الناتجه من هذه الظاهرة غير شائع وصعب رياضيا.

تعتبر كل من مفقودات القلب (core losses) وظاهرة التقاربيه من أكثر أهم الاعتبارات عند التصميم المغناطيسى لنظم توزيع التيار المتردد (AC). فى حالة استخدام قلب ذى فقد محدد ولا يحدث له تشبع (saturation) عند الترددات العاليه، فإن كثافة التيار تحد بظاهرة التقاربيه، ولا تنتج مقاومه DC .

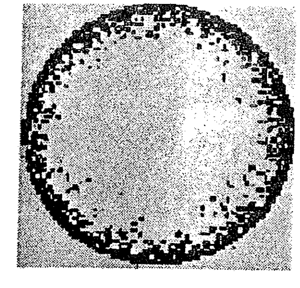
من التعريفات الهامه اللازمة لتوضيح كيفية حسابات الفقد :

أ) عمق السطح (SD) (Skin depth)

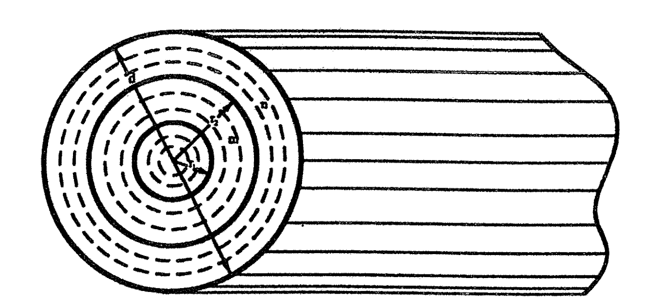
هو عمق اختراق أو نفاذ التيار المكافىء إلى الموصل، لكل التيارات الماره للفقد المكافىء ، يكون عمق السطح بدلالة التردد وخصائص الموصل .. بتقدير ابعاد أعماق السطح يمكن حذف التردد كمتغير فى حسابات عمق السطح.

ب) مقاومة التيار المستمر (R_{dc}) (DC resistance)

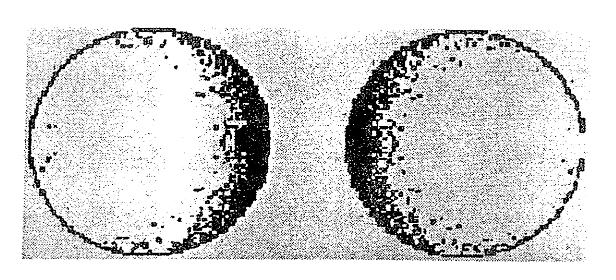
هى المقاومة الاساسية باهمال تأثير الترددات العاليه. وتكون مقاومة التيار المتغير (R_{ac}) هى المقاومه الفعليه الكليه (total effective resistance) لموجه، والتى تستخدم لايجاد الفقد الحقيقى . لحساب المقاومة أو لحساب الزياده فى المفقودات عندئذ يحتاج إلى ايجاد النسبه R_{ac} / R_{dc} .



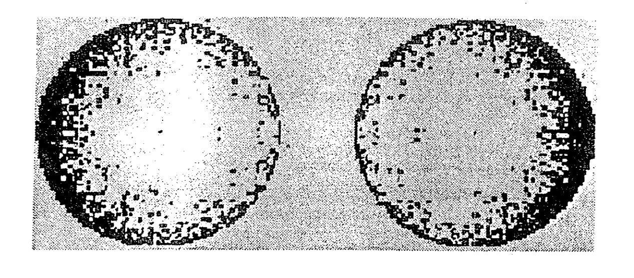
شكل (1 - 10) توزيعات التيار فى حالة
ظاهرة السطح



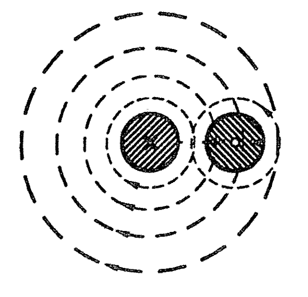
شكل (2 - 10) كثافة التيار المتردد تكون اكبر
ما يمكن بالقرب من سطح الموصل الخارجى



شكل (3 - 10) توزيعات التيار فى حالة ظاهرة التقارب
عند مرور تيار فى الموصلين فى نفس الاتجاه



شكل (4 - 10) توزيعات التيار فى حالة ظاهرة التقارب
عند مرور تيار فى الموصلين فى عكس الاتجاه



شكل (5 - 10) ظاهره تأثير التقاربيه فى الموصلات

جـ) الملف (winding)
مجموعــه مــن اللفات أو مجموعه من الموصلات المتقاربه والتي تتقاسم في نفس التــيار وشــكل الموجــه. يكون قطاع الملف (winding section) جزء من الملف. تشكل الطبقه (Layer) جزء من الملف أو زوج من الموصلات.

د) عنصر الملف المفرد (individual winding element)
عنصر الملف هو الموصل، يقاس الموصل أو ارتفاع الملف (winding hight) عند الزاويه اليمني وحتى مركز محور القلب.

هـ) مجال مغناطيسي مماسي (Tangential magnetic field)
هــو المجال المار خلال سطح الملف، والمفروض أنه منتظم. وتكون نسبه المجال (field ratio) هى النسبه بين المجالات المماسية عند الاسطح العلويه والاسطح الدنيا للموصل.

ظاهرة التقاربيه وزيادة المفقودات

تطبق أساسيات ظاهرة التقاربيه على ملفات المحولات وعلى مجموعه من الموصلات مــتقاربه جــدا مــن بعضها البعض، تمر فى مواسير طويله، وتحتوى على وصلات (Junction box).

لكــل طبقه ملف (winding layer) لها عمق سطح واحد (skin depth)، فإن المفقــودات المحسوبة لظاهرة السطح وظاهرة التقاربيه لهما تقريبا نفس القيمه. من الــتعريف، فإن ظاهرة السطح لاتتغير بتغير تركيبة الملفات. بينما فى ظاهرة التقاربيه، وجود طبقات من الملفات تزيد تكثيف المجال المغناطيسى وبالتالى زيادة المفقودات.
لمدير سرعه من نوع تضمين عرض النبضات PMW مــزدوج القطــبيه (bipolar pulse width modulate drive) له دورة تشــغيل (DU) duty cycle

تســاوى 0.5 فــإن جدول (1-10) يوضح النسبه $\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$ (عند ترددات KHz 100) وعند عمق سطح واحد.

جدول (1-10) النسبه $\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$ مع تغير عدد طبقات الملفات

شكل الموجه	عدد طبقات الملفات	$\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$	ملاحظات
مزدوج القطبيه 0.5 DU	1	1.17	تصميم جيد
مزدوج القطبيه 0.5 DU	10	19.5	كارثه
مزدوج القطبيه 0.5 DU	100	1860	ميئوس منه

إن زيادة مقاس السلك (wire size) غير مفيد ، من وجهة نظر تأثير التقاربيه، لان كــبر مقاس السلك عن المقاس المثالى يمكن أن يزيد بشدة المفقودات، خاصة لطبقات الملفات المتعددة.

لمديــر احـــادى القطبيه (unipolar drive) ذى دورة تشــغيل 0.25 وبموصلات مخــتلفة الارتفــاع فــإن R_{ac} / R_{dc} تتغير بتغير عــدد طبقات الملفات كما هو واضح بجدول (2-10).

جدول (10-2)

ارتفاع الموصل Conductor hight	R_{ac} / R_{dc}	
	طبقه واحده	10 طبقات
0.1 SD	1.0	1.013
0.2 SD	1.0	1.19
0.5 SD	1.04	5.35
1.0 SD	1.23	26.5
2.0 SD	2.05	110
5.0 SD	4.88	314

إن زيادة سمك الموصل تزيد قيمة المقاومة بصوره ملحوظه . الموصلات ذات السمك الصغيرجدا أفضل من السمك العريض للتصميمات ذات الطبقات المتعدده و للتصميمات ذات الطبقه الواحده، فإن أحجام الموصلات الاكبر تكون آمنه من حيث الفقد ولا تزيد مع زيادة قطر الموصل. بالاضافة إلى أن مفقودات ظاهرة السطح تكون آمنه دائما.

ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار شكل الموجات المشوهه بالتوافقيات عند التعرض لظاهرة التقاربيه، فعند تحليل فقد ظاهرة التقاربيه، نجد أن مفقودات مجموعة الموصلات أو الملفات، فى حالة موجه جيبيه (sine wave)، تكون أقل بحوالى 300% من قيمة الفقد فى حالة موجه تضمين عرض النبضه PWM (Pulse Width Modulation).
فى حالات مدخل عالى (high input line conditions) تكون المفقودات أقل بحوالى 500% أو أكثر. وفى حالة دائرة قصر (short circuit condition) ذى عرض نبضه صغير فإن فقد الملفات تنخفض بنسبه 1 : 12

تحليل ظاهرة التقاربيه

توضح المعادله التاليه (والمذكوره فى المرجع [1]) المفقــودات فى الطبقه المنفصله (individual layer) عند تردد واحد.

$$\text{الفقد} = Loss = Area\ \frac{H^2}{2\delta\sigma}\left[\left(1 + H_r\ M_n\right) - 4H_r D_n\right]$$

حيث :

Area = Total conductor surface area

= المساحه الكليه لسطح الموصل

= (عرض الملف) × (طول الملف)

= (winding width) × (winding length)

H = high side magnetic field intensity (Amp . turn / length)

= شدة المجال المغناطيسى للجانب العالى (بوحدة أمبير لفه / الطول)

H_r = field ratio for one winding (high side to low side)

= نسبة المجال لملف واحد (الجانب العالى إلى الجانب المنخفض)

تعرف M_n & D_n باســتخدام عمق السطح (skin depth) & سمك الموصل (conductor thickness) عن طريق العلاقات الآتيه :

$$M_n \equiv \frac{Sinh(2\phi) + Sin(2\phi)}{Cosh(2\phi) - Cos(2\phi)}$$

$$D_n \equiv \frac{Sinh(\phi)Cos(\phi) + Cosh(\phi)Sin(\phi)}{Cosh(2\phi) - Cos(2\phi)}$$

$$\phi = \frac{H_t}{\delta}$$

(للموصلات النحاس، عند 100 KHz، يكون عمق السطح حوالى "0.0084)

---

[1] J. P. Vandelac , "A novel approach for minimizing high frequency transformer copper loss " 0275 - 9306/87/0000 1987 IEEE

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi f \mu_o \sigma}}$$

μ_o = material's permeability = أنفاذيه المادة [1]

σ = material's conductivity = موصلية المادة [2]

يجب أن تطبق معادله الفقد هذه على كل طبقه من لفات المحول، مع الأخذ فى الاعتبار المجـال المغناطيسـى النهائى، أو تستخدم لكل زوجين من الموصلات. فى حالة وجود توافقيات فيجب تطبيق هذه المعادله لكل درجة توافقيه . فمثـلا لنبضه 100 KHz عند دورة تشغيل 50% وأزمنة [3] 50 ns توجد 200 درجة توافقيه يجب أن تطبق عليها معادلة الفقد.

المقاومة الفعالة R_{ac} للموصلات [15]

تحسب المقاومة الفعالة R_{ac} بصورة عامة تبعا للمعادلة التالية:

$$R_{ac_t} = R_{dc_t}\left(1 + Y_s + Y_p\right)$$

حيث

R_{ac_t} = AC resistance at temperature t

= المقاومة للتيار المتردد عند درجة حرارة t

R_{dc_t} = DC resistance at operating temperature t

= المقاومة للتيار المستمر عند درجة حرارة التشغيل t

---

(1) أنفاذيـة المـادة : مقـياس لمقدار تقبل وسط ما لمرور خطوط القوى المغناطيسيه خلالها. تساوى النسـبه بين كثافة التدفق المغناطيسى المتولد فى الوسط وبين القوة الممغنطه المولده له. نفاذية الفراغ تساوى $4\pi \times 10^{-7}$ henery / meter

(2) موصـلية المـادة : خاصيه نوعيه لماده ما تحدد قابليتها لتوصيل التيار الكهربى (مقلوب المقاومة الحجميه) وتساوى موصولية المادة لوحدة الطول ووحدة مساحة المقطع.

(3) ns : nano second ، النانو = 10^{-9}

Y_s = skin effect factor

= عامل ظاهرة السطح

Y_p = proximity effect factor

= عامل ظاهرة التقاربية

يحسب عامل ظاهرة السطح من المعادلة التالية:

$$Y_s = X_s^4 / \left(192 + X_s^4\right)$$

حيث

$$X_s^2 = \left(8.\pi.f.10^{-7}.K_s\right) / R_{dc_t}$$

f = frequency (Hz) = (هرتز) التردد

K_s = factor determined by conductor construction
1 for circular, stranded, compacted and sectored

= عامل يحدد تبعا لهيئة أو تركيبة الموصل وتساوى ١ لموصل على شكل قطاع دائرى مدمج مجدول

ويحسب عامل ظاهرة التقاربية كالآتي:

أ- كابل ثنائي الموصلات (أو كابلين كل كابل احادى الموصل)

$$Y_p = X_p^4 / \left(192 + 0.8\,X_p^4\right) * \left(dc / S\right)^2 * 2.9$$

ب- كابل ثلاثي الموصلات (أو ثلاثة كابلات كل كابل احادي الموصل)

$$Y_p = X_p^4 / (Z).\left(d_c / S\right)^2.\left(0.312\left(d_c / S\right)^2 + 1.18 / \left(X_p^4 / (Z) + 0.27\right)\right)$$

حيث

$$Z = \left(192 + 0.8\,X_p^4\right)$$

$$X_p^2 = 8.\pi.f.10^{-7}.K_p / R_{dc_t}$$

f = frequency (Hz) = (هرتز) التردد

K_p = factor determined by conductor construction
1 for circular, stranded, compacted and sectored
0.8 if above conductors are dried and impregnated

= عامل يحدد تبعا لهيئة أو تركيبة الموصل ويساوي 1 لموصل علي شكل قطاع دائرى مدمج مجدول ويساوي 0.8 إذا كانت الموصلات جافة أومشربة

d_c = Diameter of conductor (mm)

= قطر الموصل (مم)

S = spacing between conductor centers (mm)

= المسافة بين مركزى الموصلين (مم)

في حالة الكابلات الموضوعة علي نفس المستوى (flat formation) فإن

$$S = \sqrt{S_1 * S_2}$$

حيث S_2 & S_1 المسافات بين الموصلات

كيف يمكن تخفيض ظاهرة التقاربية ؟

المحولات (Transformers)

إن مفتاح العلاج عند تصميم المحول هو كمية أو عدد الطبقات (layer quantity) والترتيب (organization). أساسا، يختار القلب (core) وعدد اللفات التي تحقق أقل عدد كلي للطبقات الضرورية. فمن المعروف أن أفضل قلب هو الذى يحقق النسبة: طول عرض اللفة إلي ارتفاعها (long winding width to height ratio)، والتي تسمح للموصل أن يبسط أو يمد بسهولة. ومن المفيد ايضا لتقليل عدد الطبقات أن يرفع تردد التشغيل.

ظاهريا، بمجرد أختيار القلب وعدد اللفات، فإن زيادة عدد الطبقات يمكن أن يخفض الفقد. علي الرغم من أن زيادة الطبقات فيه ضرر أو يؤدى نسبه مقاومه AC إلى مقاومه DC [AC to DC resistance ratio]، وتحدث أفضل زيادة لارتفاع اللفات إذا كانت كل طبقه مرققه (thinner). هذا يؤدى إلى زيادة إضافية فى مساحة

النحاس، ويخفض مقاومه DC. يستخدم ذلك فقط إذا كانت البكره تتيح الارتفاع الزائد المطلوب.

ويكون الانجاز الأكثر شيوعا وسهوله للوصول لاقصى عدد طبقات هو استخدام ملفات الرقائق (foil windings) اذا أمكن. فمثلا تكون مفقودات عدد عشره طبقات من الرقائق أقل من مفقودات عدد عشرة أسلاك دائريه (round wires) فى طبقه احاديه، وذلك بفرض أفضل سمك لكل منهما. تمتاز ملفات الرقائق بارتفاع النسبه R_{ac} / R_{dc} نتيجة احتوائها على طبقات متعدده ولكن، مع أعلى ارتفاع مثالى كلى، فإن النتيجة النهائية انخفاض مقاومه R_{ac}.

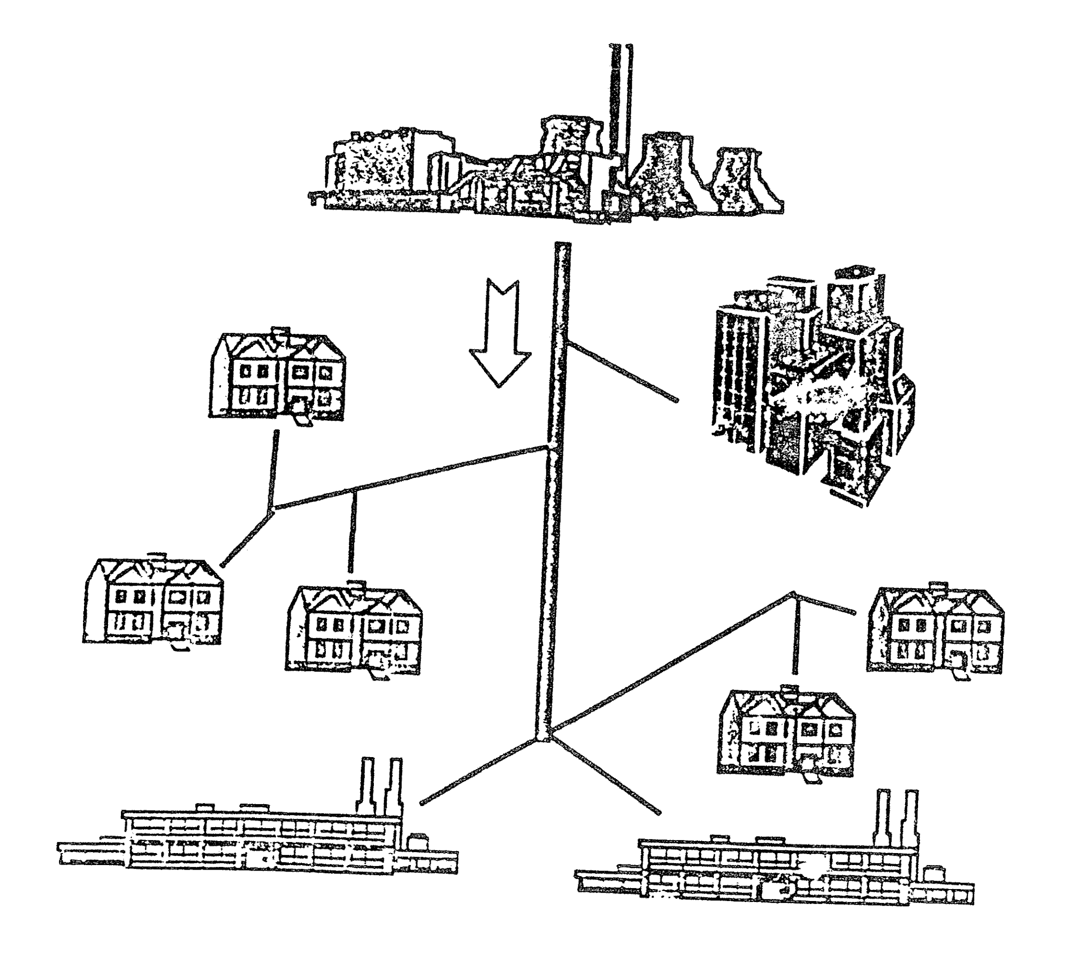
يمكن باستخدام تداخل الملفات (Interleaving the winding) تقليل ظاهرة التقاربيه وذلك بتخفيض العدد الفعلى للطبقات. فى هذه التقنيه يتم لف بعض طبقات الملف الابتدائى ثم بعض طبقات الملف الثانوى ثم عدد أكبر من طبقات الملف الابتدائى ... وهكذا. وذلك يؤدى إلى تقليل العدد الفعلى للطبقات فى كل قطاع للملفات(winding section) والنتيجه زيادة المجال.

بالاضافه إلى المحافظة على أن تكون المكونات المساعده (مثل أطراف النهاية terminations والغلاف shield ....) بعيدا عن المجال المغناطيسى. وإذا كان الغلاف ضروريا فإنه يجب تخفيض سمك عمق السطح (skin depth thick).

وفى غياب تصميم محول قابل للتصحيح وبالامكانيات المتاحه، فإن تقليل التيار الكلى المنتج يقلل ظاهرة التقاربيه ومفقودات التيارات الدواميه فى المحولات وبالأجهزة المغناطيسيه الأخرى مثل المحركات والكابحات (ballasts) ومصادر القدرة (power supplies).

نظم التوزيع (Distribution Systems)

احتواء نظم التوزيع على موصلات دائريه داخل مواسير تؤدى اساسا إلى ظهور مفقودات ظاهرة التقاربيه. عند وجود أحمال غير خطيه (non linear AC loads) أو أحمال تحتوى على خصائص تضمين عرض النبضة (PWM) وأن هذه الاحمال موصلة بتيار كبير عند تردد أعلى من تردد الخط، فإن مفقودات كل من ظاهرة السطح وظاهرة التقاربيه تؤدى إلى أن تكون المقاومه R_{ac} أكبر من المقاومه R_{dc}.



الباب الحادي عشر

شبكات التوزيع

Distribution System

تعتبر مفقودات شبكات التوزيع هى الجزء الأكبر المبدد من الطاقة الكهربائية في النظم الكهربائية والتى تفقد أثناء عمليات التوزيع من الشبكة الكهربائية... ولذا كان الاهتمام بعرض مكونات شبكات التوزيع

تتكون شبكات التوزيع، والموضحة فى شكل (11-1)، من :

1- محطات توزيع فرعية (Distribution substation)

هـى محطـات تعمـل علي التحويل ما بين نظم أو شبكات الجهد العالى والجهد المتوسط أو الجهد المنخفض وتكون بالقرب من مراكز الاحمال.

وترتـبط محطات التوزيع الفرعية بالشبكات الرئيسية من خلال دوائر نقل فرعية (sub transmission) كما فى شكل (11-2).

ويوضح شكل (11-3) محطة توزيع فرعية تغذى احمال شبكة توزيع

ويبين شكل (11-4) نماذج لمكونات محطة التوزيع الفرعية

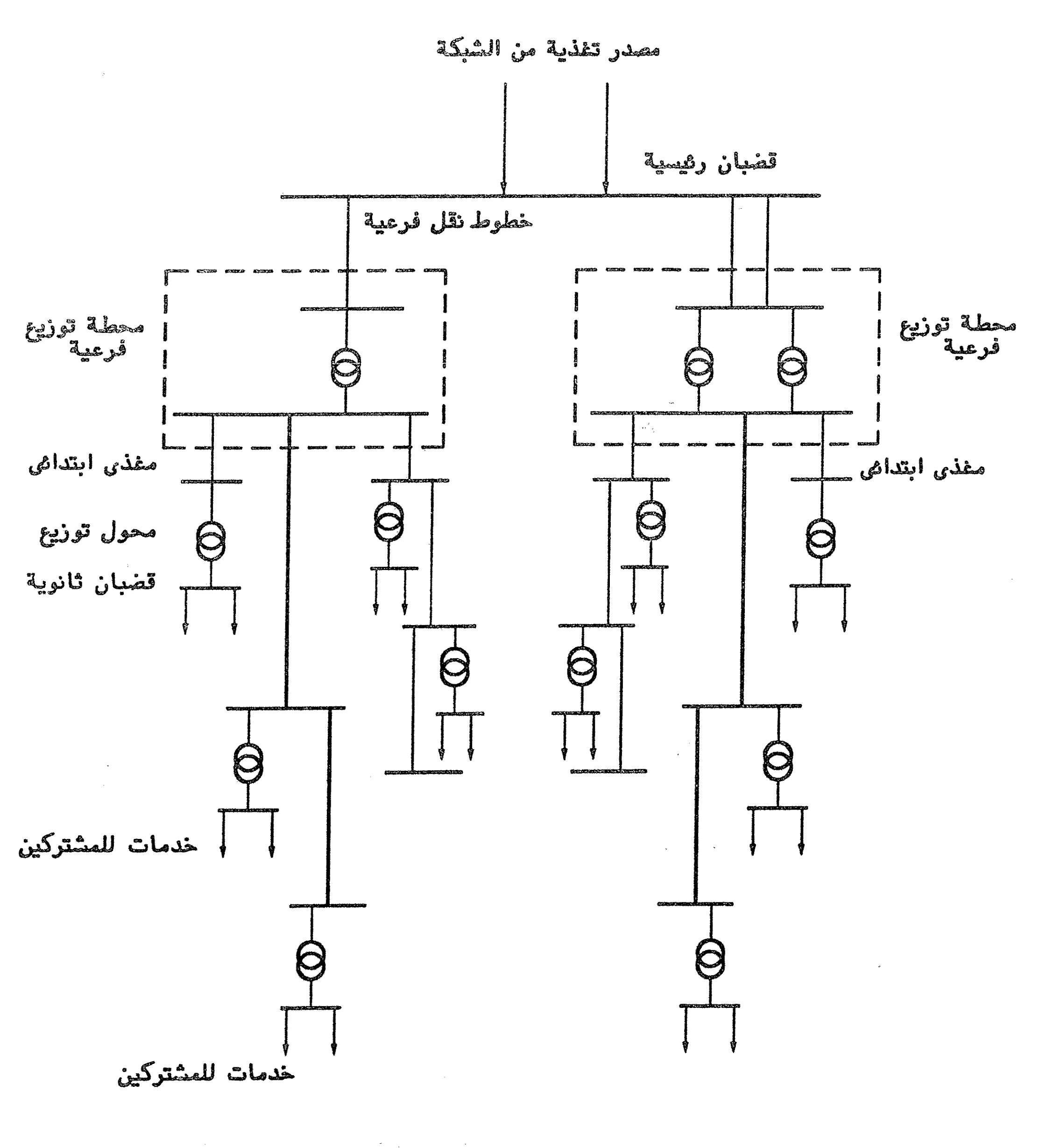
2- محولات التوزيع (Distribution transformers)

يوضـع محول التوزيع فى نظام توزيع القدرة الكهربائية بالقرب من المستهلكين ليحول الجهد المتوسط إلى جهد منخفض (أى جهد الاستخدام النهائى)

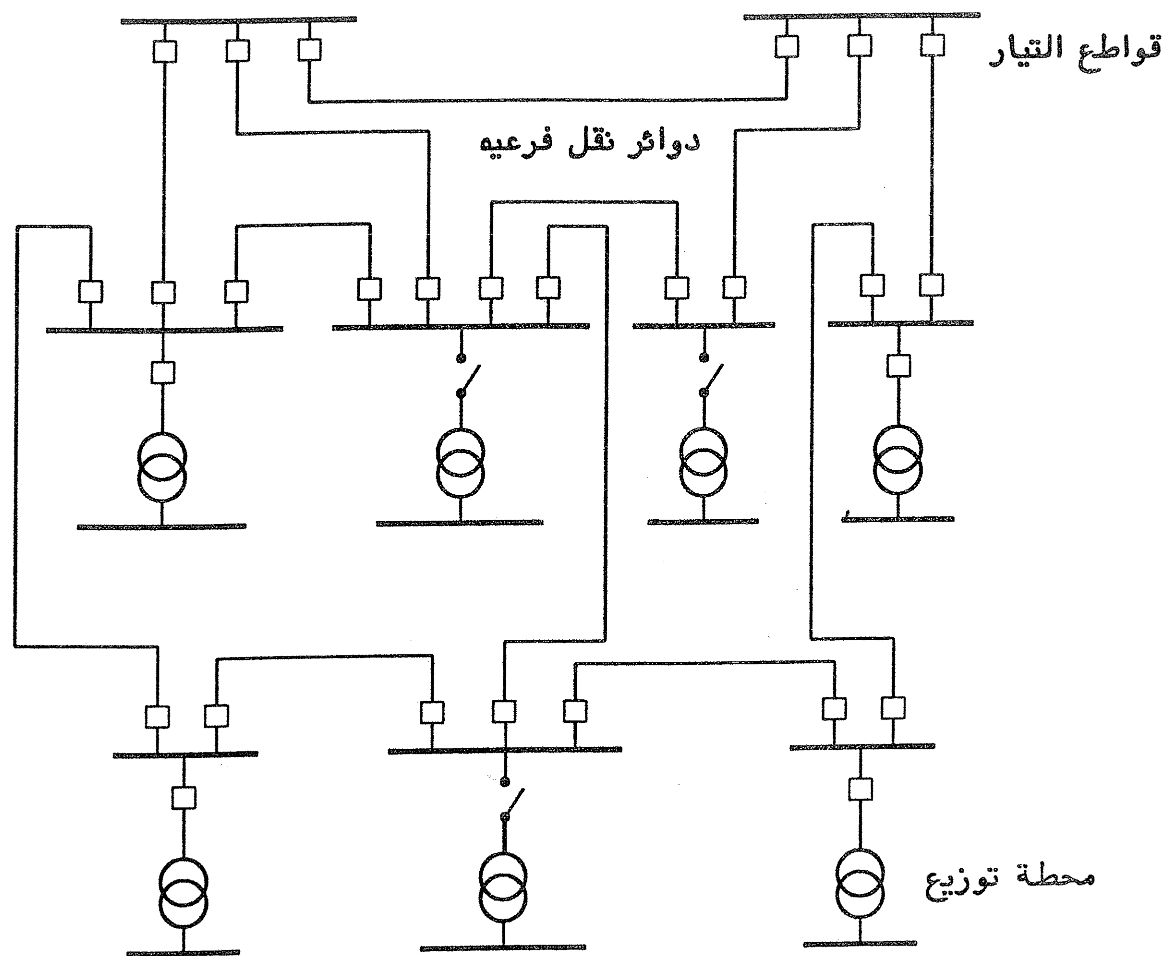
تتغذى محولات التوزيع من خلال مغذى ابتدائى (primary feeder) مفرد كما فى شكل (11-5) أو من خلال مغذى ابتدائى حلقى كما فى شكل (11-6).

3- المغذيات الابتدائية (Primary feeders)

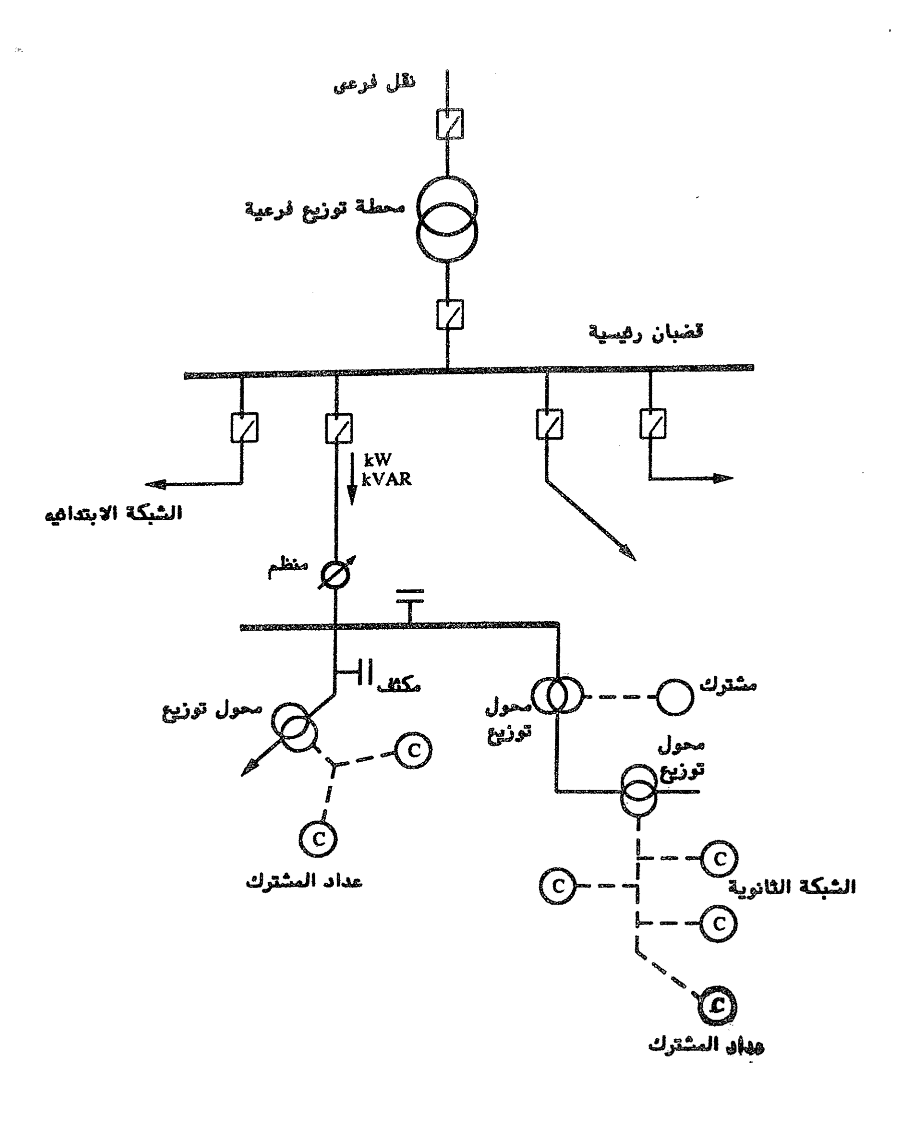
هـذه المغذيات تكون مسئولة عن التغذية الكهربائية لمراكز الاستهلاك ويمكن أن يكون المغذى إما شعاعى أو حلقى.



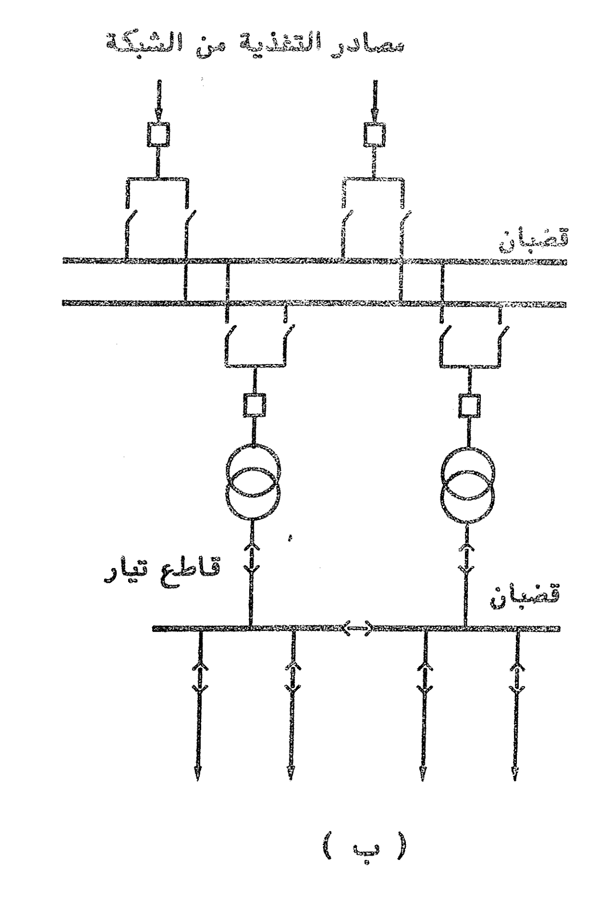
شكل (1-11) شبكة توزيع نموذجيه مسجل عليها مكونات الشبكة

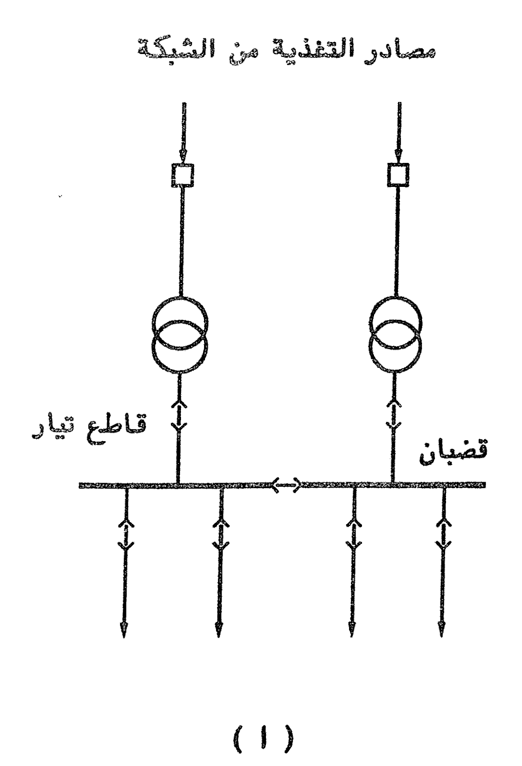


شكل (2 - 11) دوائر النقل الفرعيه

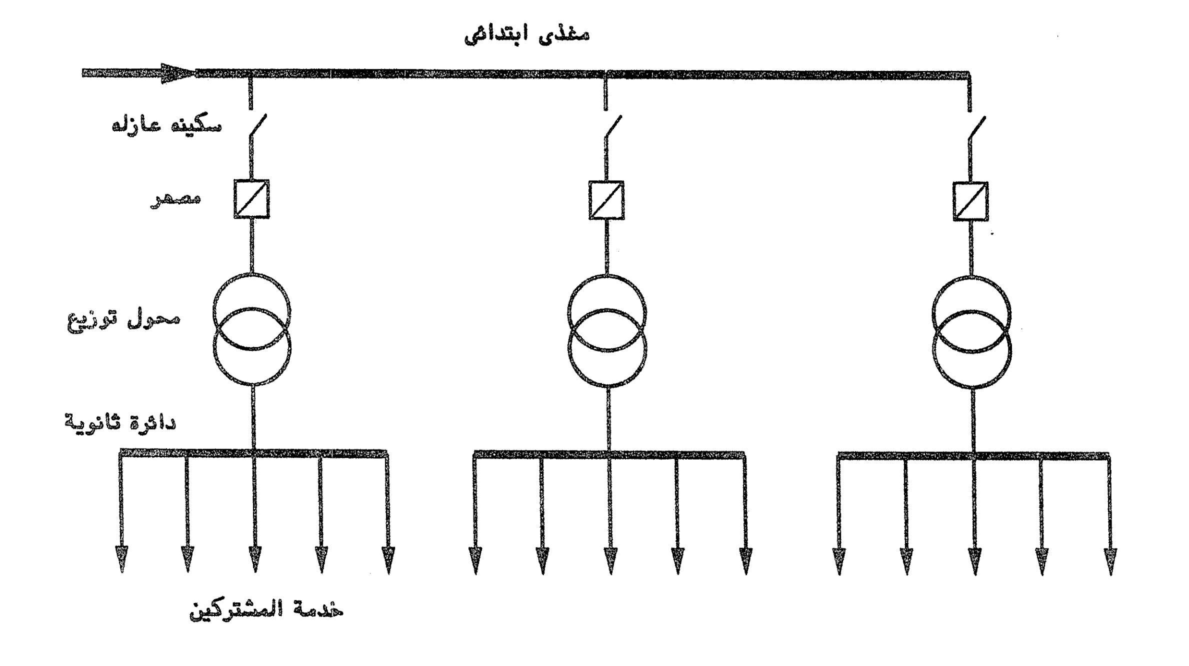


شكل (3 - 11) نظام توزيع يتغذى من محطة توزيع فرعية

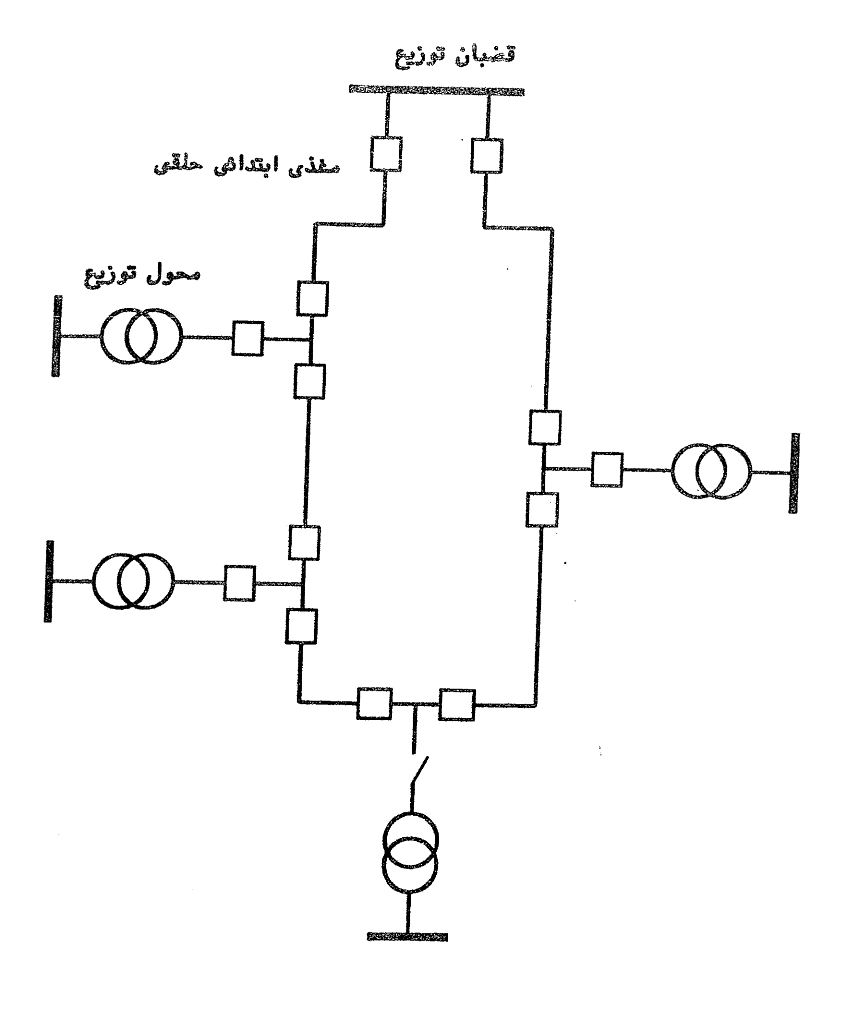




شكل(4 - 11) محطة توزيع فرعية



شكل(5 - 11) محولات توزيع مغذاة من مغذى ابتدائى

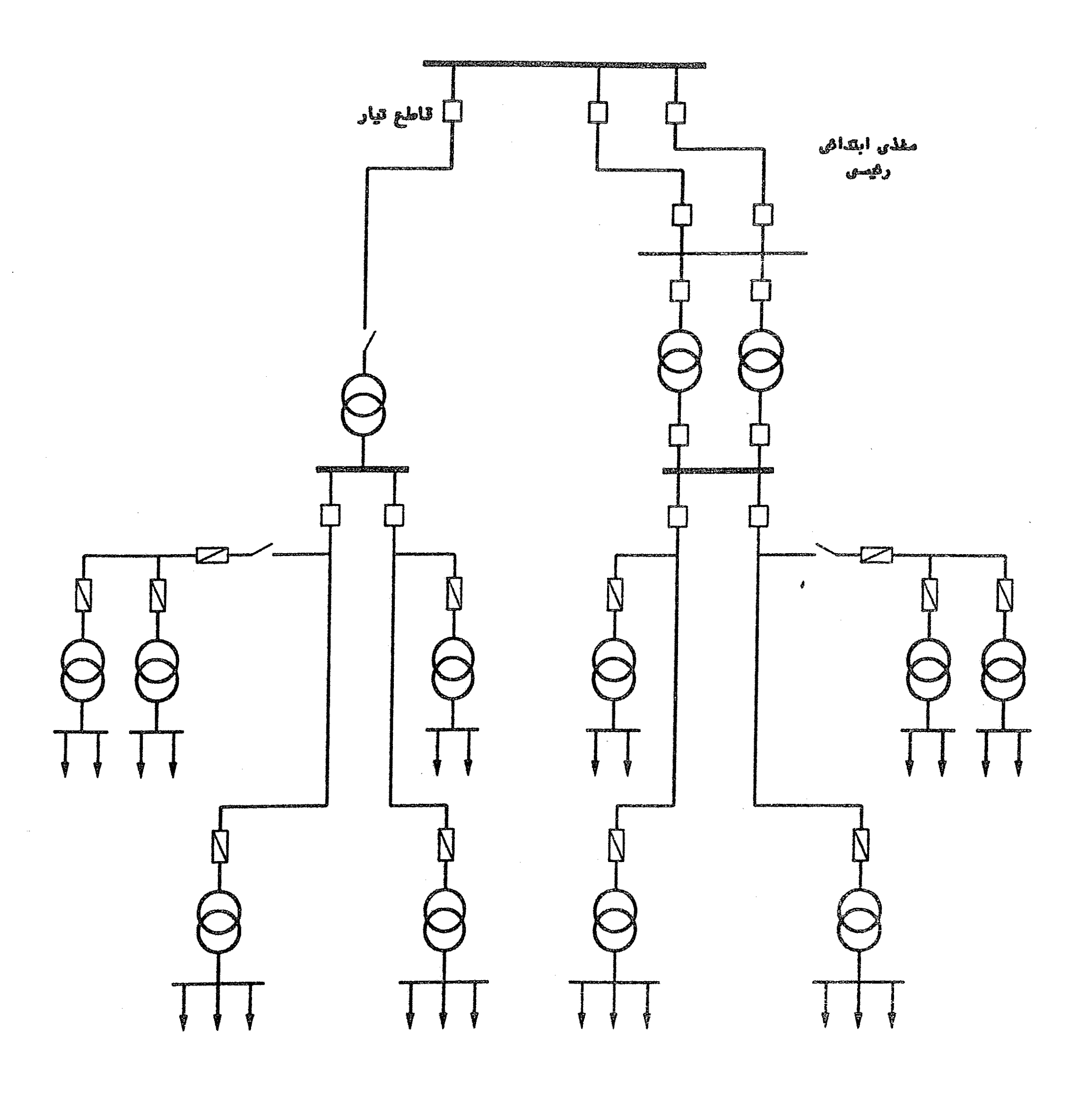


شكل(6 ، 11) مغذى ابتدائى حلقى يغذى محولات توزيع

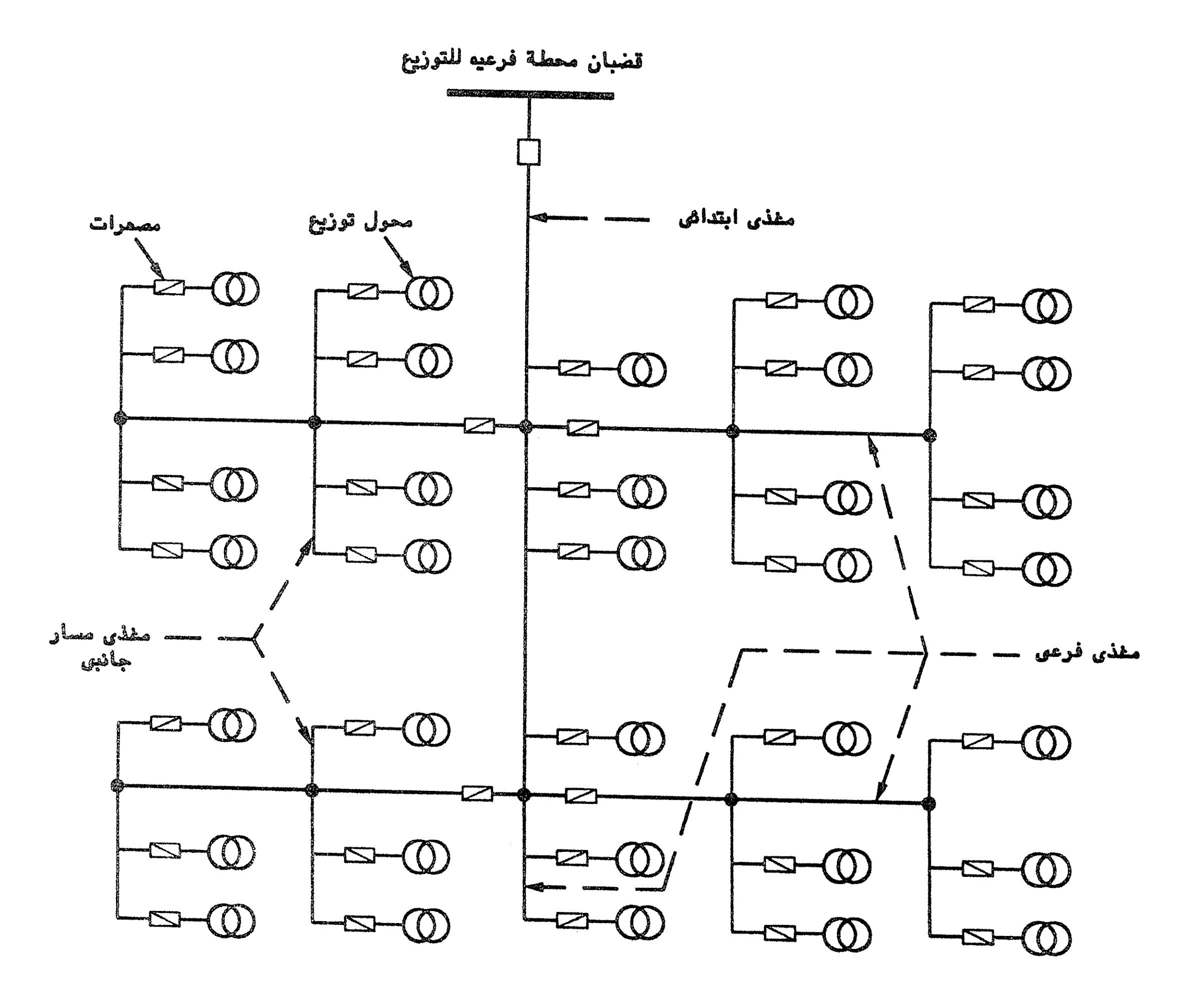
نظـــام الـــتوزيع الشعاعى (radial distribution system) هو نظام توزيع مفتوح لـــتغذية مراكز الاستهلاك عن طريق خطوط تغذية تخرج من نقطة تغذية وحيدة أو من محطـــة فرعية وحيدة، يمتاز هذا النظام بانخفاض تكاليف إنشائه بالنسبة لنظم التغذية الاخـــرى ولكن من عيوبه انقطاع التغذية الكهربائية عن عدد من المستهلكين فى حالة وجـــود عطـــل أو مشكلة فى أى موضع فى الشبكة .. وذلك لأن التغذية الكهربائية فى هذه الحالة تكون فى اتجاه واحد فقط ..
يوضح شكل (11-7) نموذج لمغذيات ابتدائية من النوع الشعاعى.

كذلـــك يمكـــن أن يحـــتوى (أو لا يحتوى) المغذى الابتدائى الشعاعى على مصهرات بالمغذيـــات الفرعـــية (subfeeders) كما فى شكلى (11-8) &(11-9) على التوالى ويمـــتاز النوع المحتوى على مصهرات انه يحمى المغذيات الفرعية ضد الاعطال وذلك لتخفيض عدد المشتركين المتأثرين بأعطال المغذيات الفرعية.
عـــند احتواء المغذى الابتدائى الشعاعى على مفاتيح ربط (Tie switches) ومفاتيح قطاعية (sectionalizing switches)، كما فى شكل (11-10)، فإن ذلك يساعد على سرعة إعادة التغذية الكهربائية للمشتركين على قطاعات المغذيات غير العاطلة.

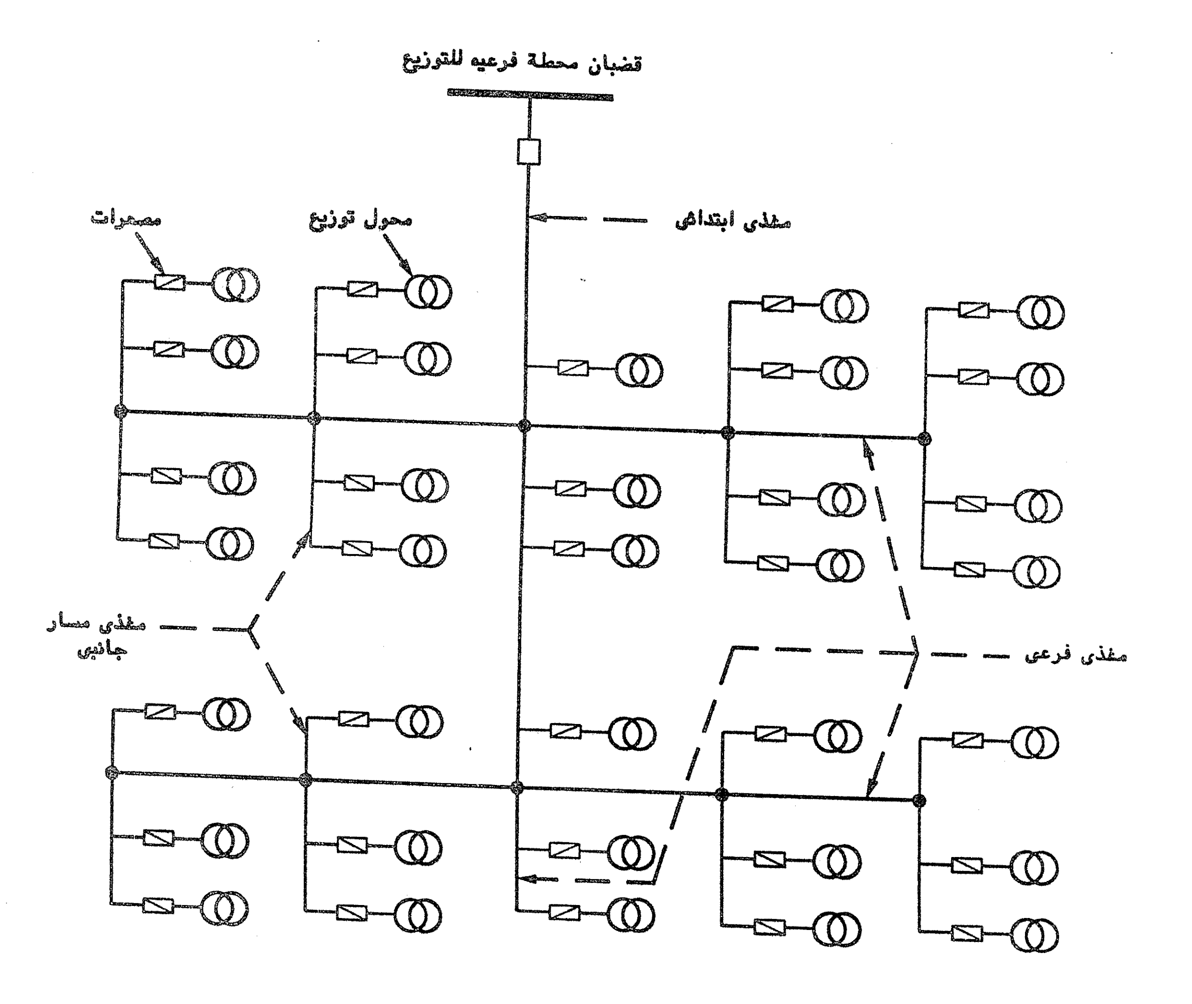
أما النوع الآخر فهو نظام التوزيع الحلقى (loop(or ring)distribution system) والـــذى يعرف بأنه نظام توزيع مقفل وفيه تتغذى مراكز الاستهلاك (أو الأحمال) من أكثر من مصدر تغذية. يمتاز هذا النظام بعدم تأثر المستهلكين عند حدوث أى عطل أو اضطراب يسبب انقطاع التغذية الكهربائية فى أية نقطة من الشبكة ولكن يعيبه ارتفاع تكلفة الإنشاءات والصيانة.
يوضح شكل (11-11) مغذى ابتدائى حلقى يغذى أحمال موزعة.



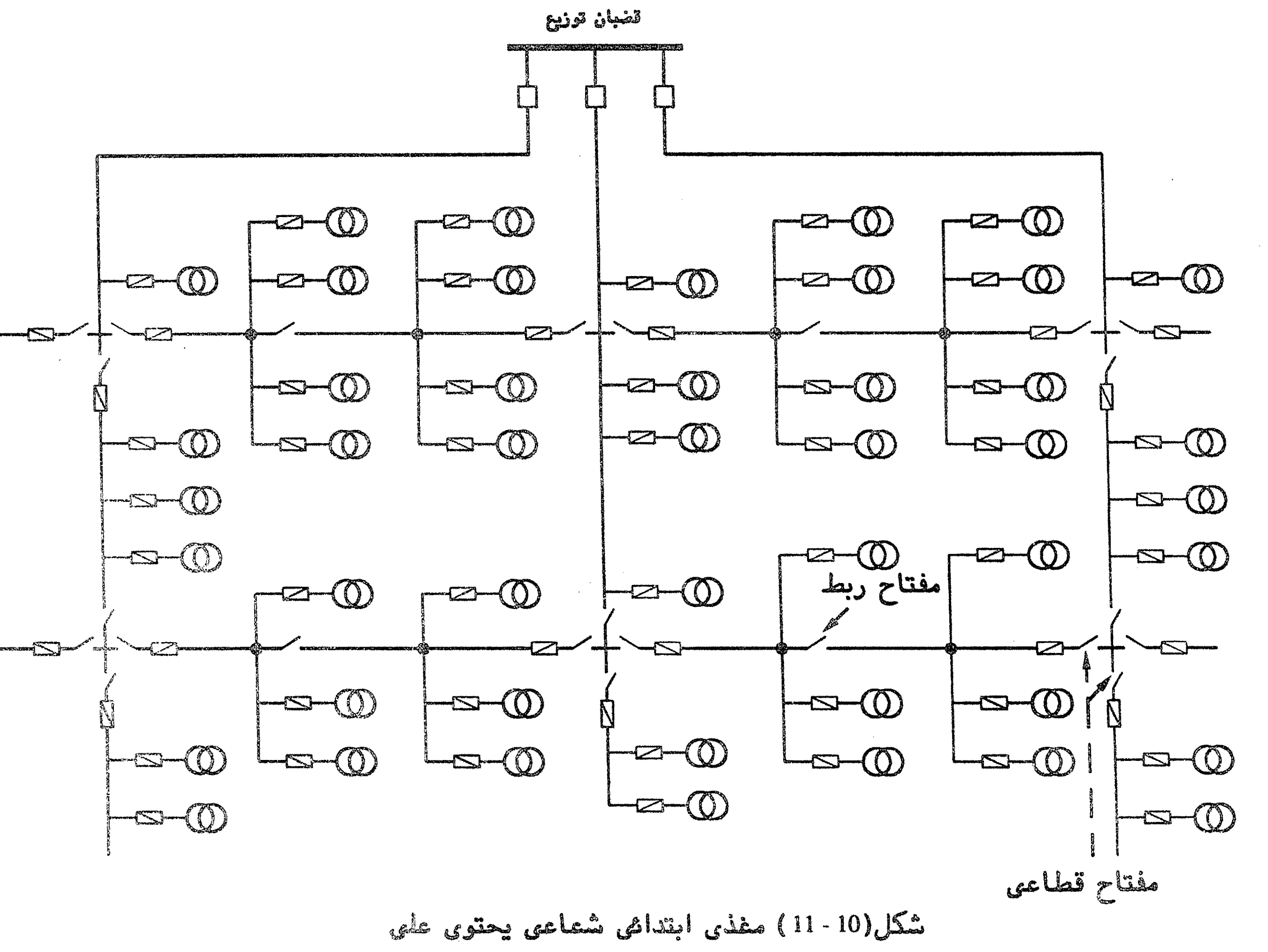
شكل(7 - 11) مغذيات ابتدائيه من النوع الشعاعى



شكل(8 - 11) مغذى ابتدائى شعاعى يحتوى على مصهرات بالمغذيات الفرعيه



شكل(9 - 11) مغذى ابتدائى شعاعى لا يحتوى على مصهرات بالمغذيات الفرعيه



شكل(10 - 11) مغذى ابتدائى شعاعى يحتوى على
مفاتيح ربط ومفاتيح قطاعيه

شكل(11 - 11) مغذى ابتدائى حلقى يغذى احمال موزعه

تحتوى شبكات التوزيع علي شبكات توزيع ثانويه (Secondary distribution) والتى من خلالها يتم توزيع القدرة الكهربائية على مراكز الأحمال (الاستهلاك) بالجهد المنخفض عن طريق المحطات الثانوية الفرعية.

تتغذى شبكات التوزيع الثانوية من خلال شبكة الجهد المنخفض لمحولات التوزيع كما هو واضح فى شكل (5-11) وشكل (7-11).

تحتوى الشبكات الابتدائية والثانوية على كابلات أو خطوط هوائية أو الاثنين معا ذات جهود متوسطة ومنخفضة.

تصنف طرق توزيع الأحمال، والموضحة فى شكل (12-11) إلى:

أ- الحمل المتمركز (Concentrated load)

وهو حمل كلى مفرد، ويعتبر من أبسط الطرق.

ب- أحمال موزعة بالتساوى على طول الخط (Uniformally distributed load)

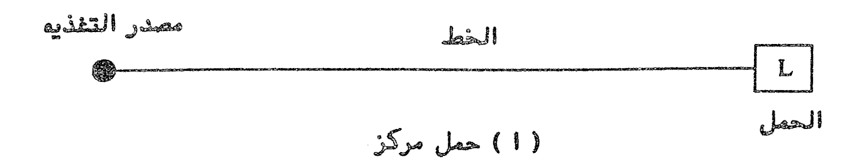
والتى تكافئ الحمل الكلى المفرد.

ج- أحمال موزعة على طول الخط بمسافات غير متساوية (Distributed load)

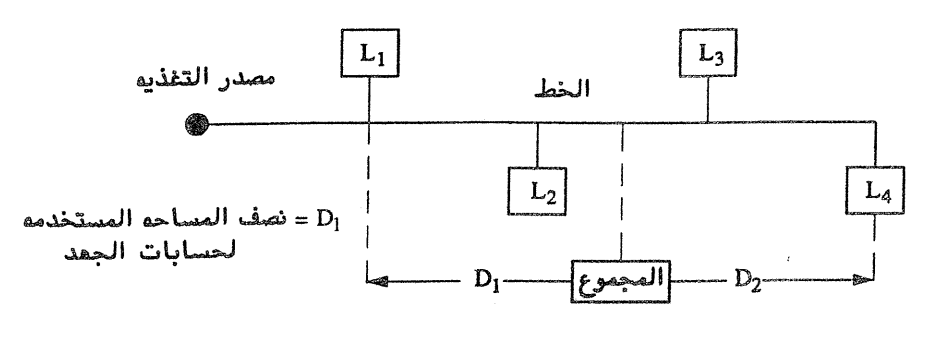
ولامكانية تحليلها تحتاج إلى قطاعات (sections) ونقط توصيل فى الشبكة (node)

فى أغلب شبكات التوزيع تستخدم طريقة التوصيل فى بند (ج) والتى عادة ما تحتاج إلى طرق حسابية متعددة.

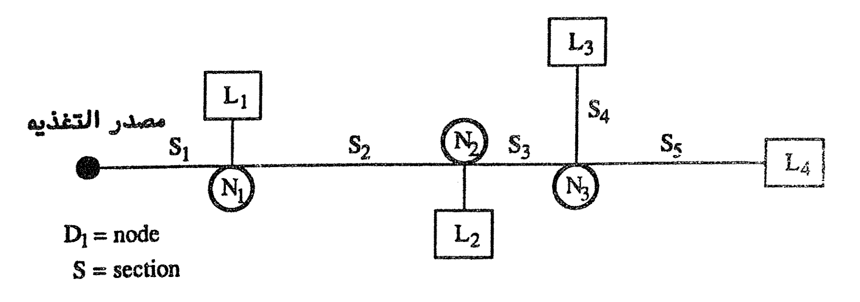
للتوضيح، يبين شكل (13-11) جزء من شبكة عبارة عن مصدر تغذية وخط وحمل..



(ا) حمل مركز



(ب) حمل موزع بانتظام



(جـ) حمل موزع

شكل (12 - 11) تصنيف توزيع الاحمال

نحصل على التيار المار بالخط من المعادلة التالية:

$$I = \frac{KW}{\sqrt{3}(KV_{LL})} \quad \text{Amp} \qquad (1)$$

حيث:

I = current in Amperes

= التيار بالأمبير

KV_{LL} = Line to line voltage at the load

= جهد بين خطين عند الحمل

KW = Three phase load in KW

= (KW) قدرة الحمل - ثلاثى الطور- بوحدة

$KV_{LL} = KV_S$ - Voltage drop

KV_S = Supply voltage = جهد المصدر

Voltage drop = هبوط الجهد

$$= I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) \qquad (2)$$

R = resistance (in Ohms)

= المقاومة (بالأوم)

X = reactance (in Ohms)

= الممانعة (بالأوم)

cos φ = Power factor of load

= معامل قدرة الحمل

هبوط الجهد الموضح فى المعادلة رقم (2) هو الهبوط لموصل واحد بين خط ومسار التعادل.

بينما هبوط الجهد للثلاثة أطوار يساوى $\frac{3}{2}$ من القيمة بالمعادلة رقم(2) ويساوى ضعف القيمة بالمعادلة رقم (2) فى حالة هبوط جهد طور واحد.

الباب الثانى عشر

الفقد فى شبكات التوزيع

Distribution System Losses

تتكون مفقودات شبكات التوزيع من مجموع المفقودات (قدرة أو طاقة) فى مكونات شبكة التوزيع وهى: الخطوط والكابلات الإبتدائية ومحولات التوزيع والشبكة الثانوية...

ويوضح شكل (1 -12) رسم خطى لمكونات شبكات التوزيع

أولا: مفقودات مكونات شبكات التوزيع:

(1) مفقودات الخطوط والكابلات بدلالة التيار (I)

تكون الصورة العامة لفقد القدرة بالخطوط والكابلات كالآتى :

Power Losses = $I^2 R$ لطور واحد

= $3 I^2 R$ للثلاثة اطوار

حيث I التيار المار بالموصل (أمبير)

R مقاومة الموصل (اوم / كيلومتر)

تكون حسابات المفقودات السنوية بسيطة إذا فرض أن الحمل ثابت ومنتظم.

وتحسب مفقودات الخط الابتدائى (Primary line losses) كالآتى :

$$P_{loss} = 3 R L I_s^2 (DF)$$

حيث

P_{loss} = peak 3-ph losses (in watt)

= أقصي مفقودات القدرة – ثلاثة اطوار (وات)

R = Resistance of conductor (ohm / km)

= مقاومة الموصل (اوم/ كيلو متر)

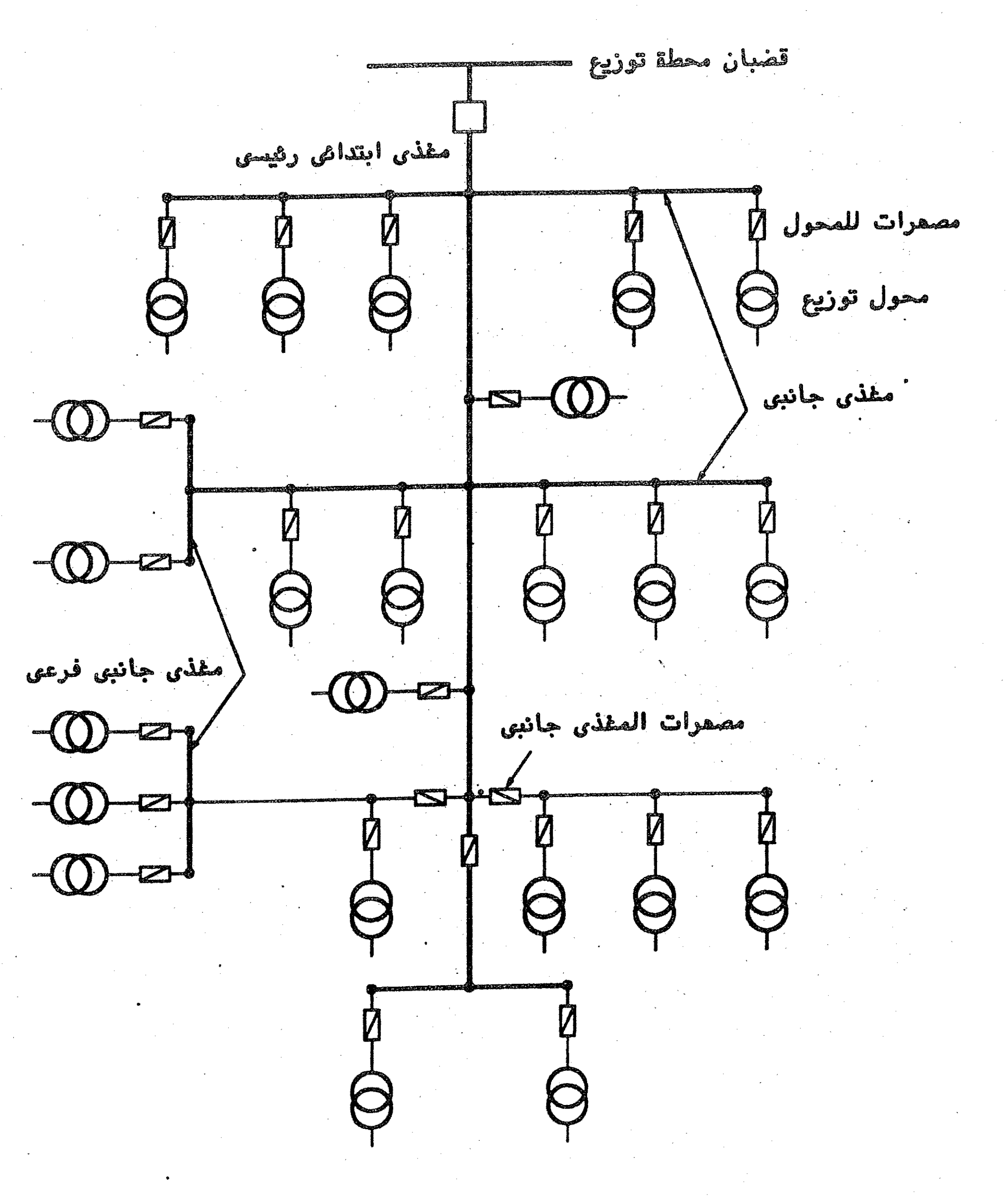
I_s = peak sending - end current (Amp)

= اقصى تيار مرسل بالموصل (امبير)

(راجع التعريف فى الباب الثالث)

DF = Distribution factor

= عامل التوزيع



شكل (1 - 12) مكونات شبكات التوزيع ذات النوع الشعاعى

L = length (in km) = الطول (كم)

ثم نحسب متوسط المفقودات كالآتى :

$$P_{av.loss} = P_{loss}\,(LsF)$$

حيث

$P_{av.loss}$ = average peak losses
= متوسط أقصى مفقودات

P_{loss} = peak losses
= أقصى مفقودات

LsF = Loss Factor
= عامل الفقد

ثم نحسب فقد الطاقة السنوي كالآتى :

$$E_{loss} = P_{av.loss}\,(8760\ hr)$$

حيث

E_{loss} = energy losses
= مفقودات الطاقة

ونحصل على مفقودات الطلب كالآتى :

$$D_{loss} = P_{loss}\,(SPRF)^2$$

حيث

D_{loss} = Demand losses
= مفقودات الطلب

SPRF = system peak responsibility factor
= عامل المسئولية الأقصى للنظام

(2) مفقودات الخط الجانبى بدلالة التيار (Lateral line losses)

عـادة ما تحتوى شبكات التوزيع على مغذيات جانبية ومغذيات ومسارات جانبية فرعية والتى يمكن أن تكون أحادية الطور أو ثلاثية الطور طبقا للاستخدام .

ويوضح شكل (12-1) تعريف المغذيات الجانبية والجانبية الفرعية .

وتحسـب مفقودات الخط أو المغذى الجانبى بنفس الطريقة المستخدمه لحساب مفقودات الخطوط والكابلات الابتدائية والثانوية ..

ونحصل على أقصى مفقودات لخط جانبى أحادى الطور (حيث يعود التيار بالكامل أى 100% بمسار التعادل) طبقا للمعادلة

$$\text{Peak 1- ph Losses} = \frac{2}{3} RL\ I_S^2\ (DF) \qquad \text{watt}$$

يوضح جدول (1-12) البيانات الفنية لكابلات رباعية هوائية جهد منخفض ذات موصلات الومنيوم ومعزوله بمادة XLPE

جدول(1 -12) البيانات الفنية لكابلات رباعية هوائية – جهد منخفض – الومنيوم – XLPE

$R\cos\phi + Z\sin\phi$ (PF =0.9) Ω	X/km Ω	R/Km Ω	القدرة 380V/220V 3-phase (KVA)	السعة (Amp)	مقاس الموصل mm^2
0.503	0.461	0.336	182	277	95
0.588	0.469	0.426	130	197	70
0.972	0.474	0.85	84	128	35
1.265	0.487	1.17	70	106	25
1.996	0.511	1.97	51	78	16

درجة حرارة الموصل = 90°C
درجة الحرارة المحيطة = 45°C

(3) تقدير فقد القدرة لمساحة أحمال

بفرض موقع أحمال ذو مساحة مستطيلة لها توزيع حمل منتظم (uniform load density) كما في شكل (12-2) فإن معادلة مفقودات الذروه[5] كالاتى:

$$\text{مفقودات الذروة} = \text{Peak losses} = 0.8721\, R_2 \left[\frac{E^{3/2} D^{1/2} V^{7/4} K_1^2}{Z_1^{1/2} d^{1/4} K^{5/4} Z_2^{5/4}} \right]$$

حيث

$Z_1 = R_1 \cos\theta + X_1 \sin\theta$
= main impedance factor , Ω / mile (km)
= عامل معاوقه مصدر التغذية الرئيسى (اوم / ميل (كم))

$Z_2 = R_2 \cos\theta + X_2 \sin\theta$
= Lateral impedance factor , Ω / mile (km)
= عامل معاوقة الخط الجانبى (اوم / ميل(كم))

D = load density, KVA per mile ^{2} (km^2)
= كثافة الحمل ، ك.ف.أ / ميل^2 (كم^2)

d = spacing of lateral, mile (km)
= المسافة بين خطين جانبيين ، ميل (كم)

E = line to line main feeder voltage (KV)
= جهد المصدر الرئيسى بين خطين (ك.ف)

K = constant depending on type of lateral
= ثابت يعتمد على نوع الخط الجانبى

= 0.30 (إذا كان كل التيار يعود بمسار التعادل)
نوع الخط الجانبى طور/ التعادل

= 0.21 (إذا عاد 40% من التيار بمسار التعادل)
نوع الخط الجانبى طور/ التعادل

= 0.10 (نوع الخط الجانبى طور/ طور)

K_1 = constant depending on type of lateral

= ثابت يعتمد على نوع الخط الجانبى

= 3 (فى حالة نوع الخط الجانبى طور / التعادل)

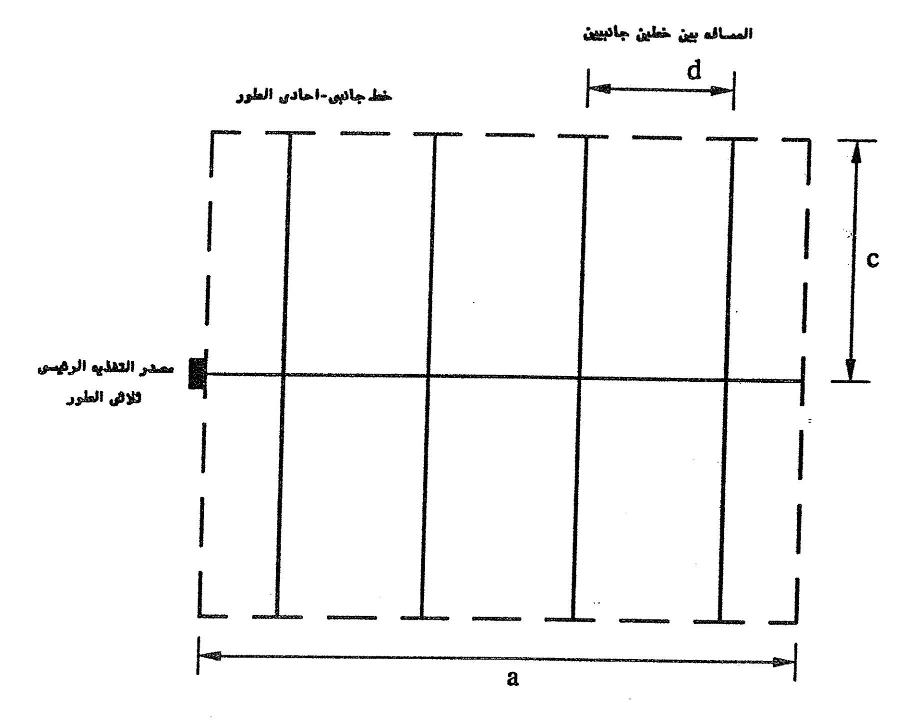
= 1 (فى حالة نوع الخط الجانبى طور / طور)

V = Voltage drop, percent

= هبوط الجهد (نسبه مئويه)

وتخضع هذه المعادلة للفروض التالية :

* يتوزع الحمل بانتظام
* يعود التيار المار فى المسار الجانبى طبقا لتعريف الثابت K
* يكون مقاس موصل التعادل مساويا لمقاس موصل المسار الجانبى



شكل (2 - 12) موقع احمال ذو مساحه مستطيله

(4) مفقودات الخط والمسار الجانبى بدلالة الطلب (KVA)

تكون مفقودات جميع قطاعات الخطوط عبارة عن مفقودات طاقة ومفقودات قدرة :

أ- مفقودات الطاقة Energy losses

تحسب مفقودات الطاقة تبعا للمعادلة التالية :

$$\text{KWh Losses} = \frac{K * R * L * (KVA)^2 * DF * H * LsF}{(KV)^2 * 1000}$$

حيث

KWh losses = energy losses (KWh)

= مفقودات الطاقة (ك.و.س)

R = Resistance (Ω / km)

= المقاومة (اوم / كم)

L = length (km)

= الطول (كم)

KVA = capacity

= القدرة

DF = Distribution Factor

= عامل التوزيع

H = length of one study period (hours)

= دورة الدراسة (ساعات)

LsF = loss factor

= عامل الحمل

KV = operating voltage = جهد التشغيل

K =	0.33	3-ph	توصيلة نجمة
=	2.0	1-ph	
=	0.66	2-ph	توصيلة دلتا
=	0.75	2-ph	توصيلة نجمه

ب – مفقودات القدرة Demand losses

تحسب مفقودات القدرة تبعا للمعادلة التالية :

$$KW\ losses = \frac{K * R * L * (KVA)^2 * DF}{(KV)^2 * 1000}$$

نفس تعريف المتغيرات بمعادلة مفقودات الطاقة.

(5) مفقودات محول التوزيع Distribution Transformer losses

لحساب مفقودات محول التوزيع يجب أن يؤخذ فى الاعتبار تأثير تنوع الحمل (load diversity).

يؤدى تنوع الحمل إلى اختلاف عاملات الحمل (load factors) وبالتالى عاملات الفقد (loss factors) لأعداد متنوعة ومتعددة من المستهلكين مجمعة معا على المحول.

كلما زاد عدد المستهلكين، فإن عامل الفقد يقترب من عامل فقد التوزيع. تحتوى حسابات أقصى فقد على تأثير تنوع مفقودات الحمل حيث يؤخذ فى الاعتبار أقصى فقد عند زمن ذروة النظام أكثر مما يؤخذ عند ذروة المكون (فى هذه الحالة المكون هو المحول).

تحتوى حسابات متوسط الفقد على تأثير تنوع مفقودات الحمل بأستخدام عامل الفقد المستخدم للعدد الحقيقى للمستهلكين على المحول، أفضل من أن يستعمل عامل فقد النظام أو التوزيع.

يستخدم عامل الفقد لحساب المفقودات عند زمن ذروة المحول.

يعبر عن خصائص الحمل لمحول التوزيع بالآتى: عامل الحمل، عامل الفقد، معامل القدرة، عامل مسئولية الذروة، أقصى حمل.

تتكون مفقودات المحول من مفقودات اللاحمل ومفقودات الحمل والمفقودات غير الفعالة.

أ – مفقودات اللاحمل No-load losses

تنقسم مفقودات اللاحمل للمحول إلى:

- مفقودات التيارات الدوامية eddy-current losses
- مفقودات التخلفية المغناطيسية hysteresis losses
- مفقودات I^2R ناتجة من تيار الاثارة (exciting current)
- مفقودات العزل الكهربى dielectric losses

أغلب هذه المفقودات راجعة للحديد المكون لقلب المحول، لذا يشار إلى مفقودات اللاحمل بأنها مفقودات الحديد (Iron-losses)

وعلى ذلك فإن مفقودات اللاحمل تكون ثابته خلال السنة (بفرض عدم تقلب الجهد)، فهى موجودة فى حالتى ذروة الحمل وعدم الذروة.

عادة نحصل على مفقودات اللاحمل من جداول الصانع

وتكون معادلة مفقودات قدرة اللاحمل كالآتى:

NLL (D) = NLL

حيث

NLL (D) = No-load Demand losses (KW)

= مفقودات قدرة اللاحمل (ك.و)

NLL = No-load losses (KW)

= مفقودات اللاحمل (ك.و) (نحصل عليها من جداول الصانع)

ونحصل على مفقودات طاقة اللاحمل باستخدام مفقودات قدرة اللاحمل مضروبة فى عدد ساعات التشغيل فى السنة (والتى تكون العدد الكلى لساعات السنة أى 8760 ساعة)

تبعا للمعادلة : NLL (E) = NLL * 8760

حيث :

NLL (E) = مفقودات طاقة اللاحمـــــل (ك.و.س)

NLL = مفقودات اللاحمل (ك.و) من جداول الصانع

8760 = عدد ساعات السنة

ب – مفقودات الحمل : Load losses

تكون مفقودات الحمل عبارة عن مفقودات I^2R فى ملفات المحول، مفقودات التيارات الدوامية(eddy current loss) الحادثه بالفيض الشارد فى هيكل المحول ومفقودات مشابهه تتغير مع مربع التيار.

تتغير مفقودات الحمل مع مربع حمل المحول ويتغير الحمل خلال العام. وهذا يؤدى إلى عاملات فقد سنوى متغيره والمستخدمه عن طريق تقييم مفقودات حمل المحول.

نحصل على مفقودات الحمل لمكونات النظام عند الحمل المقنن من حاصل ضرب مفقودات الحمل فى عامل مسئولية الذروة للمحول تبعا للمعادلة :

$$LL (D) = LL * SPRF^2$$

حيث

LL (D) = Load Demand Losses (KW)

= مفقودات طلب الحمل (ك.و)

LL = Load Losses at Rated Load (KW)

= مفقودات الحمل عند مقنن الحمل (ك.و)

SPRF = System Peak Responsibility Factor (p.u)

= عامل مسئولية الذروة للنظام (وحدة كسرية)

ويوضح جدول (2-12) قيم SPRF تبعا لعدد المشتركين بمحول التوزيع

بينما تحسب مفقودات طاقة الحمل تبعا للمعادلة :

$$LL (E) = LL * LsF * 8760$$

حيث :

LL (E) = Load Energy losses (KWh)

= مفقودات طاقة الحمل (ك.و.س)

LL = Load Losses at Rated Load (KW)

= مفقودات الحمل عند مقنن الحمل (ك.و)

LsF = Annual Loss Factor

= عامل الفقد السنوى

8760 = Hours in one year

= عدد ساعات السنة

جدول (2 -12) قيم SPRF تبعا لعدد المشتركين بمحول التوزيع

كبار مشتركين تجاريين Large commercial		صغار مشتركين تجاريين * Small commercial		مشتركين سكنى Residential customers	
SPRF	عدد المشتركين	SPRF	عدد المشتركين	SPRF	عدد المشتركين
0.423	1	0.263	1	0.307	1
0.513	2	0.420	3	0.378	2
0.642	5	0.434	5	0508	6
0.714	10	0.539	10	0.533	9
0.768	20	0.582	15	0.551	18

* (<400 kw demand)
Source : [5]

جـ- المفقودات غير الفعالة (Reactive losses)

تنقسم المفقودات غير الفعالة بالمحول إلى :

* مفقودات غير فعالة عند اللاحمل No-load reactive losses

وهى المركبة غير الفعالة لقدرة المغنطة (magnetizing KVA)

* مفقودات غير فعالة عند الحمل (load reactive losses)

والتى تكون عبارة عن مفقودات المفاعلة I^2X

وتحسب المفقودات غير الفعالة عند اللاحمل من المعادلة التالية :

$$NLL(R) = \left[(KVA)^2 * (I_\circ)^2 - (NLL)^2\right]^{1/2}$$

حيث:

NLL (R) = No-load loss (reactive) (KVAR)

=(الفقد غير الفعال عند اللاحمل (ك.ف.ا.ر

KVA = Transformer nameplate rating (KVA)

= (مقنن المحول (بوحدة ك.ف.ا

I_0 = Transformer exciting current (p.u)

= (تيار إثارة المحول (وحدة كسرية

NLL = No-load loss (KW)

= (مفقودات اللاحمل (من جداول الصانع) (ك.و

وتحسب المفقودات غير الفعالة عند الحمل من المعادلة التالية :

$$LL(R) = \left[(KVA)^2 * Z^2 - (LL)^2\right]^{1/2} * DPRF$$

حيث:

LL (R) = load loss (reactive) (KVAR)

= (الفقد غير الفعال عند الحمل (ك.ف.أ.ر

Z = Transformer impedance (p.u)

= (معاوقة المحول (وحدة كسرية

DPRF = Distribution Peak Responsibility Factor

= عامل مسئولية الذروة للتوزيع

مثال (3)

يوضح المثال التالى تغير المفقودات مع تغير عامل الفقد

أ) موصل احادى الطور طراز (2 ACSR) - مقاومته $1.64\ \Omega / Km$

فقـد الخـط لكل كم $= I^2 R * 10^{-3}$ KW / Km

الفقد السنوى لكل كم $= (I^2 R * 10^{-3}) * 8760\ hr * LsF$

اقصى تيار (I) Amp	فقد الخط لكل كم KW/ Km	الفقد السنوى KWh/ Km		
		LsF = 0.2	LsF = 0.3	LsF = 0.4
20	0.7	1149	1724	2299
40	2.6	4597	6896	9194
60	5.9	10344	15516	20688
80	10.5	18389	27583	36778
100	16.4	28733	43099	57466

ب) موصل احادى الطور طراز(1/0 ACSR) - مقاومته $1.12\ \Omega$ /Km

اقصى تيار (I) Amp	فقد الخط لكل كم KW / Km	الفقد السنوى KWh / Km		
		LsF = 0.2	LsF = 0.3	LsF = 0.4
20	0.4	785	1177	1570
40	1.8	3140	4709	6279
60	4.0	7064	10596	14128
80	7.2	12558	18838	25117
100	11.2	19622	29434	39245

مثال (4)

منشآة صناعية بياناتها كالآتى :

$V = 12.47\ KV, \quad I = 40\ Amps, \quad PF = 0.85$

احسب القدرة غير الفعالة اللازمة لتحسين معامل القدرة، كذلك احسب تيار الحمل بعد تعويض القدرة غير الفعالة.

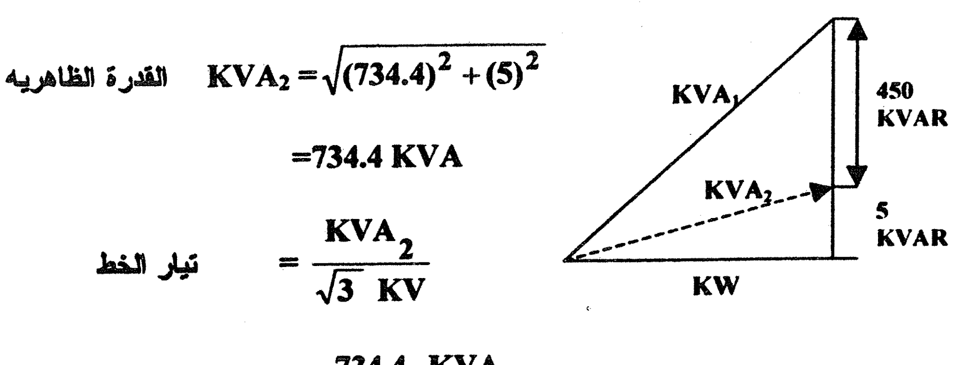
الحل :

القدرة الظاهرية $\quad KVA_1 = \sqrt{3}\, V\, I = 864\ KVA$

القدرة الفعالة $\quad KW = (KVA) * (PF) = 734.4\ KW$

القدرة غير الفعاله $\quad KVAR = \sqrt{(KVA)^2 - (KW)^2} = 455\ KVAR$

بإضافة مكثف قدرة 450 KVAR نحصل على :



القدرة الظاهريه $\quad KVA_2 = \sqrt{(734.4)^2 + (5)^2}$

$$= 734.4\ KVA$$

تيار الخط $\quad = \dfrac{KVA_2}{\sqrt{3}\ KV}$

$$= \frac{734.4\ KVA}{\sqrt{3} * 12.47\ KV} = 34\ Amp$$

أى انخفض التيار المار من 40 Amp إلي 34 Amp وبالتالى تنخفض المفقودات .

ثانيا: المفقودات المثالية بشبكات التوزيع

(Optimizing Distribution Losses)

عزل المفقودات الفنية (Isolating technical losses)

لايمثل عزل المفقودات الفنية عند مستويات محطات التوليد وشبكات الجهود العالية والفائقة أيه مشاكل نتيجة للأسباب التالية:

- تتكون محطات توليد الكهرباء من مكونات كهربائية محدده وهى: المولد – محولات الرفع – محولات بدء التشغيل – محولات الخدمات – قواطع التيار – القضبان – كابلات للربط بين المكونات...... وجميع هذه المكونات تقع في موقع محدد هو موقع محطة توليد الكهرباء والتى تكون بأعداد محدده..
- تتكون شبكة الجهد العالى والفائق من مكونات كهربائية محدده وهى: الخطوط – المحولات – القضبان – قواطع تيار... والتى تكون أيضا بأعداد محدده..
- تحتوى محطات توليد الكهرباء وشبكات الجهد العالى والفائق عند جميع مدخلاتها ,ومخرجاتها على عدادات ومسجلات طاقه ذات دقه عاليه والتى عن طريقها يتم تحديد المفقودات الفنية بدرجة دقه عاليه.

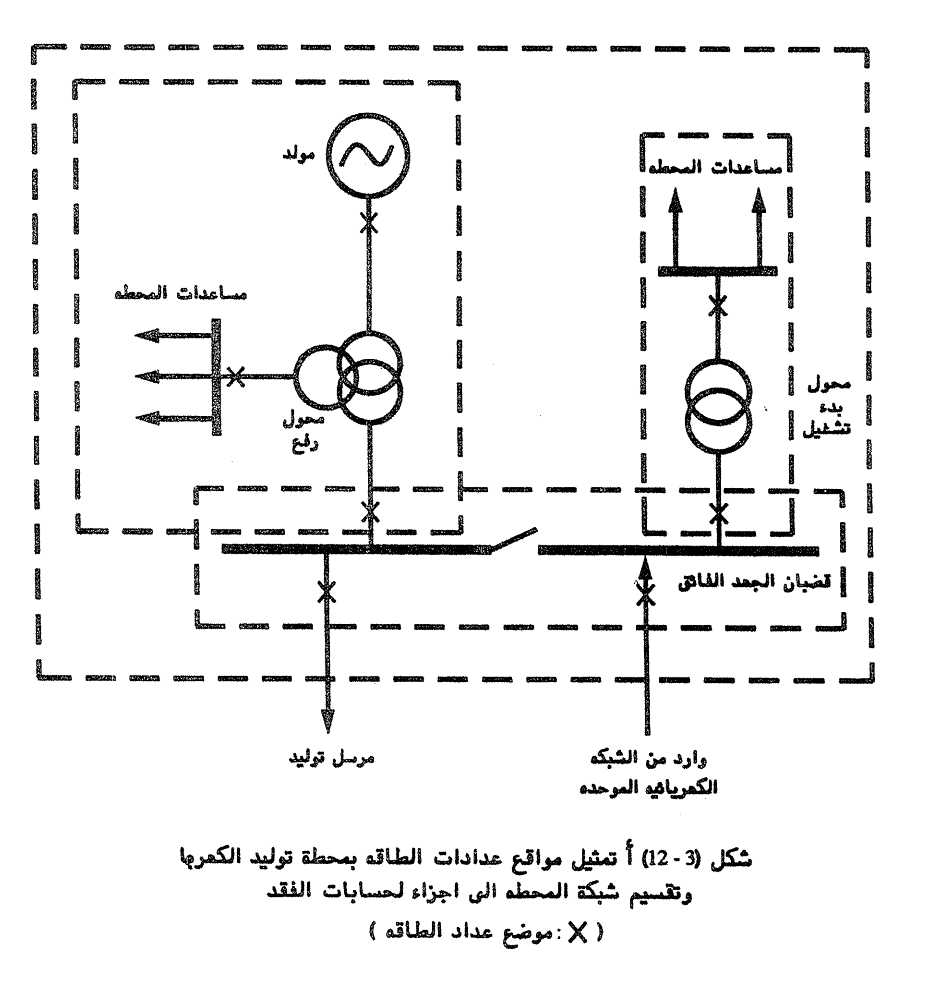
يوضح شكل (12-3) أ تمثيل لمواقع عدادات الطاقة بمحطة توليد كهرباء وتقسيم شبكة المحطة إلى أجزاء لامكانية ولتسهيل حسابات الفقد الفنى.

بينما يوضح شكل (12-3) ب تمثيل محطة توليد كهرباء مسجلا عليها المداخل والمخارج والمفقودات ٠

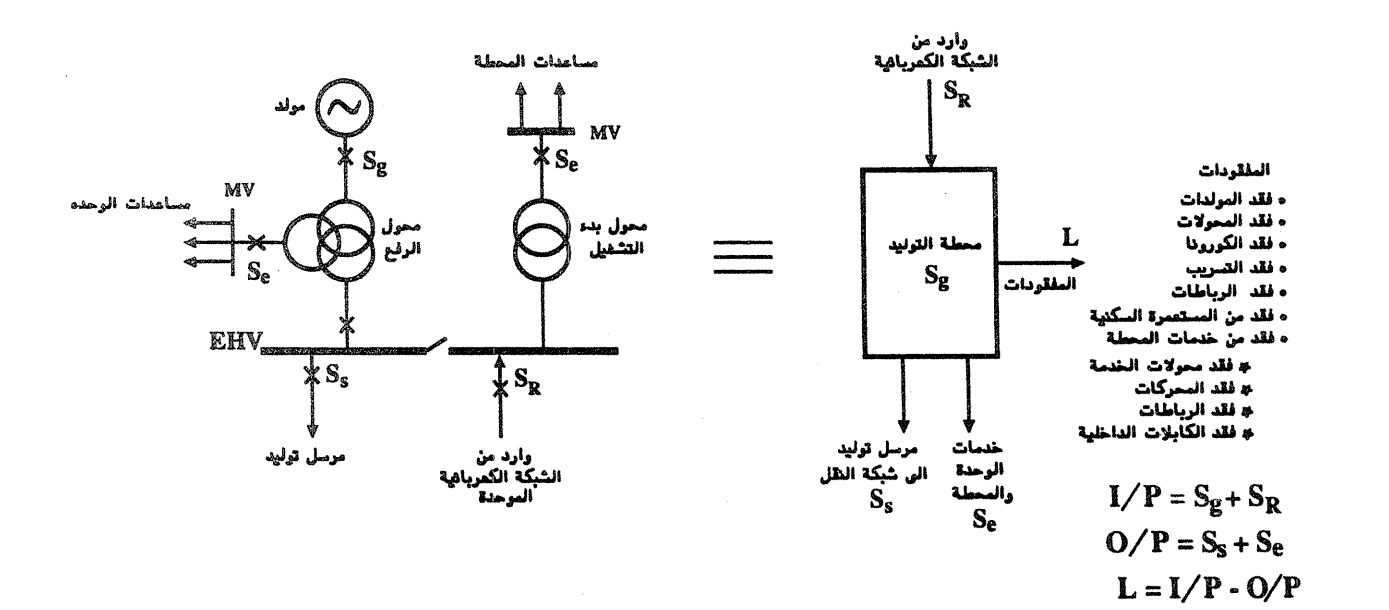
ويوضح شكل (12-4) أ تمثيل لشبكة جهد عالى وفائق وتقسيم الشبكة إلى أجزاء لامكانية وتسهيل حسابات الفقد الفنى. بينما يوضح شكل (12-4) ب تمثيل لشبكة الجهد الفائق ومفقوداتها ٠

يكون عزل المفقودات الفنية فى شبكات التوزيع (جهد متوسط وجهد منخفض) أكثر صعوبة وتعقيدا وذلك للأسباب التالية:

- تتكون شبكات التوزيع من أعداد هائلة من المكونات مثلا: مئات من الموزعات (Distribution Points) وآلاف من محولات التوزيع (Distribution



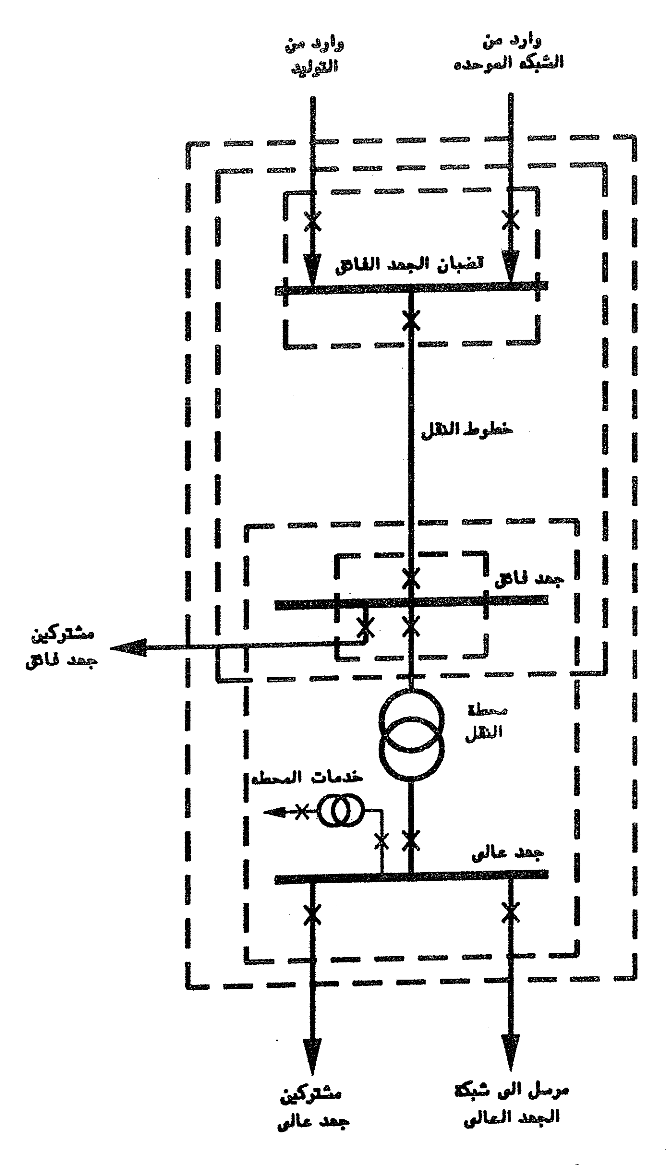
شكل (3 - 12) أ تمثيل مواقع عدادات الطاقه بمحطة توليد الكهربا وتقسيم شبكة المحطه الى اجزاء لحسابات الفقد
(X :موضع عداد الطاقه)



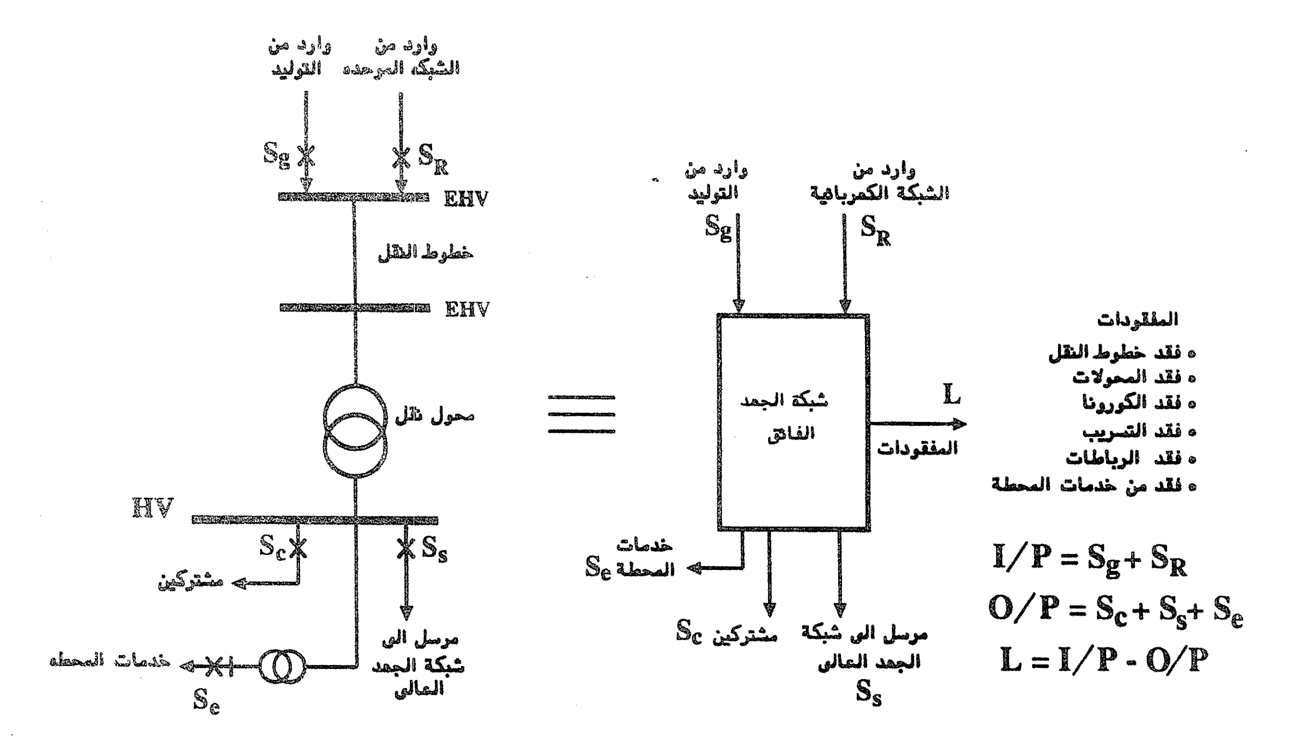
شكل (3-12) ب تمثيل لمحطة توليد الكهرباء

و مفقوداتها

(X : موضع عدادات الطاقة)



شكل (4 - 12) أ تمثيل مواقع عدادات الطاقه بشبكة الجهد الفائق
وتقسيم الشبكة الى اجزاء لحسابات الفقد



شكل (4-12) ب تمثيل لشبكة الجهد الفائق و مفقوداتها

(X : موضع عدادات الطاقة)

(Low وعشرات الآلاف من خلايا الجهد المنخفض transformers)
voltage panels) و... و...

- توجد عدادات تسجيل الطاقة عند مداخل شبكة التوزيع سواء بمحطات الجهد العالي / الجهد المتوسط أو عند مداخل الموزعات.. بالإضافة إلى عدادات الطاقة عند مخارج شبكة التوزيع وهى عدد كبير جدا من العدادات والتى تمثل عدد مستهلكي الطاقة الكهربائية (المشتركين) ولا توجد أية عدادات بين هذين الموضعين.. يوضح شكل (5-12) جزء من شبكة التوزيع و مواقع عدادات الطاقة بها عند المداخل ولدى المشتركين ..
- صعوبة تسجيل منحنى الحمل لهذا العدد الهائل من مكونات الشبكة وبالتالي صعوبة تحديد عامل الفقد السنوي (annual loss factor) لكل مكون .. وهذه المتغيرات ضرورية لحساب الفقد الفني

لتحديد الفقد الفني بشبكات التوزيع فإن مرافق الكهرباء عادة ما تقارن بين الطاقة المورده (energy delivered) لمداخل شبكاتها الكهربائية، خلال فترة زمنية محدده (سنه مثلا)، مع الطاقة الكلية المباعة بفواتير الكهرباء (total energy billed) والتي تمثل الطاقة المستهلكة خلال نفس الفترة الزمنية المحددة.. وتكون "مفقودات الطاقة السنوية " هي الفرق بين هذين الرقمين.

فمثلا تمثل البيانات التالية الطاقة المورده والطاقة المباعة لأحد مرافق الكهرباء:

الطاقة الكلية المورده لشبكة التوزيع = 745000 م.و.س

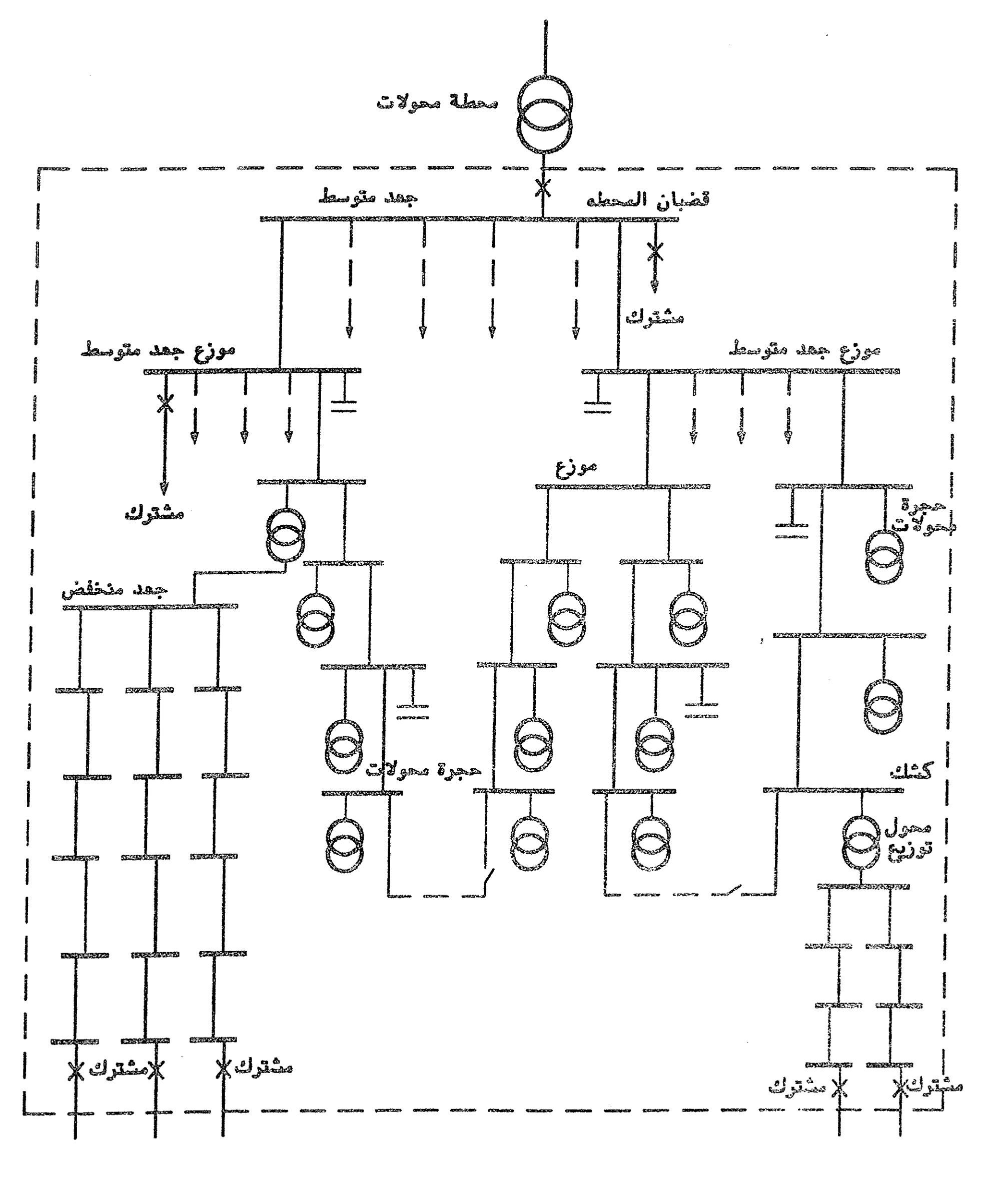
الطاقة الكلية المباعة = 570000 م.و.س

الفرق (والذي يمثل المفقودات) = 175000 م.و.س

من هذه الحسابات نجد أن نسبة مفقودات الطاقة بهذا المرفق كالاتى:

الفقد منسوبا إلى الطاقة المورده $= \frac{175000}{745000} * 100 = 23.5\%$

الفقد منسوبا إلى الطاقة المباعة $= \frac{175000}{470000} * 100 = 30.7\%$



شكل (5 - 12) تمثيل مواقع عدادات الطاقه بشبكة التوزيع

يوجد مصدران كبيران لحدوث خطأ فى هذه الطريقة التقليدية لحساب المفقودات وهما:

(1) فرق الطاقة بين مجموع الطاقة الموردة وبين الطاقة المباعة الكلية يشمل على طاقة غير مقاسه مثل السرقات وعدادات غير مقروئه أو قراءتها غير صحيحه..

ولذا فإن هذا الفرق عباره عن الفقد الفنى بالإضافه إلى طاقة غير مقاسه.

(2) تسجل جميع قراءات عدادات الطاقة الموردة (سواء بالمحطات أو على مصادر تغذيــة شبكة التوزيع) فى نفس اليوم والساعه (خاصة العدادات الالكترونية والتى تكــون مــبرمجه بحيث تخزن القراءه فى اليوم والساعة المطلوبه) ومجموع هذه القــراءات تمــثل الطاقة المشتراه الفعلية. بينما تتم قراءات عدادات المستهلكين فى أيــام مــتفرقه خــلال دوره زمنية محدده، مما يعنى أنه يوجد تأخير زمنى بين هذه القراءات وقراءه الطاقة الموردة مما يسبب تحليل مشوه للبيانات.

تعتــبر طريقه "توزيع القدرة" (Allocating demands) من الطرق المفضلة لعزل فقد الطاقه الفنى فى شبكات التوزيع..

فــى هــذه الطريقة يتم اختيار جزء من شبكة التوزيع لها مصدر تغذية ذى قدرة معلومة (KVAR & KW) كذلك يسجل على هذا الجزء أى أحمال موضعية (spot load) أو شــبكة موضعية[1] (spot network)، كما فى شكل (12-6). يبين شكل (12-7) أمثلة للشبكة الموضعية.

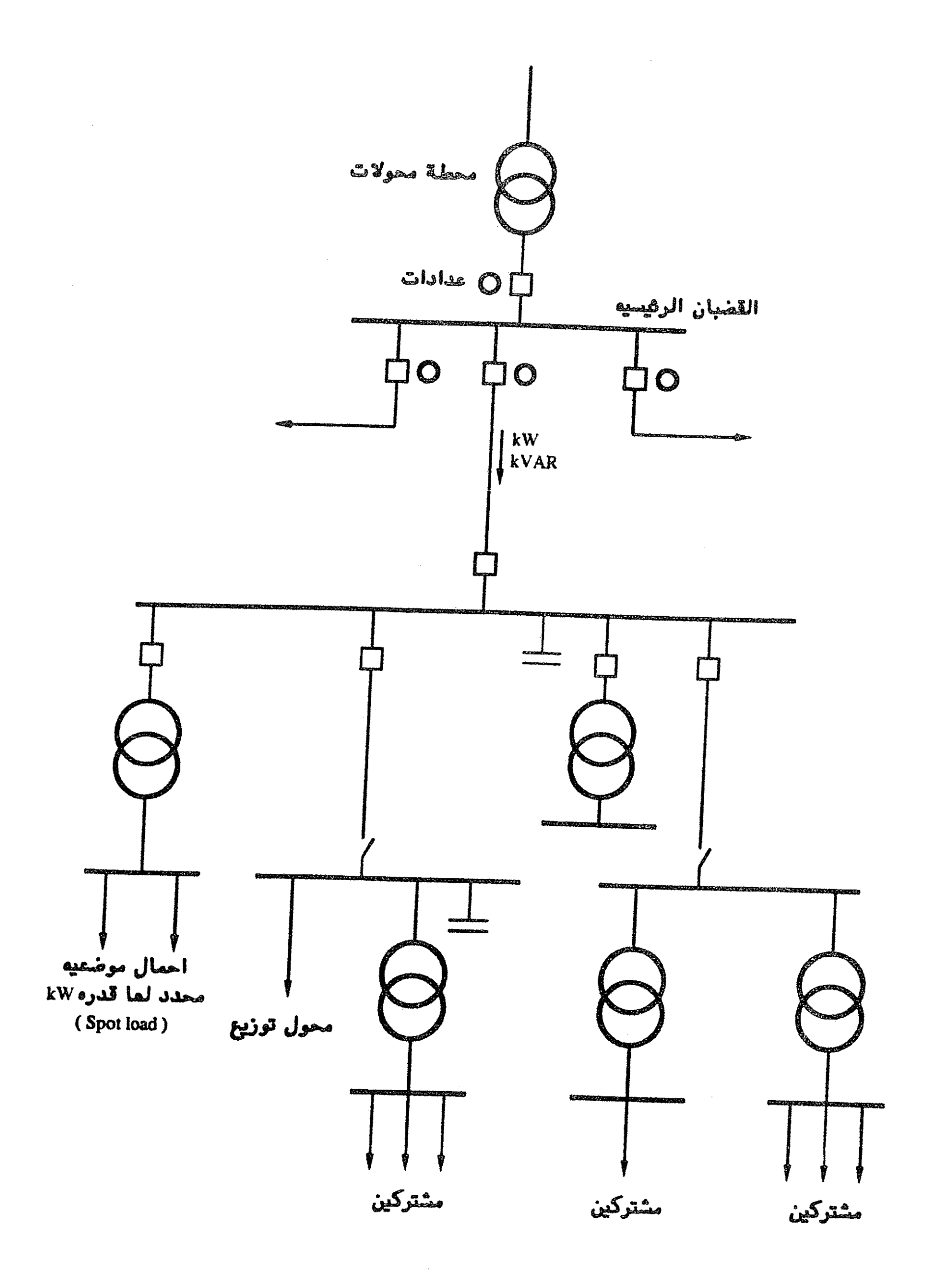
يوضح شكل (12-8) رسم خطى لوصف هذه الطريقه والتى تتلخص فى الخطوات التالية:

(1) يتم تجهيز رسم خطى لشبكة التوزيع مسجلا عليها بيانات: الموصلات ومحولات التوزيع والمكثفات ومنظمات الجهد...

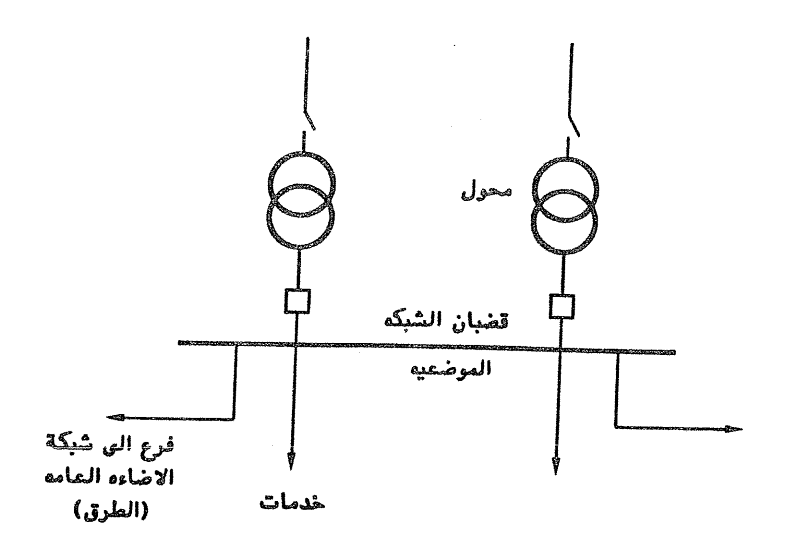
(2) عــند كــل مصــدر تغذية للشبكة، تحدد القدرة (KVAR & KW) عند لحظة حدوث ذروة النظام (system peak) ..

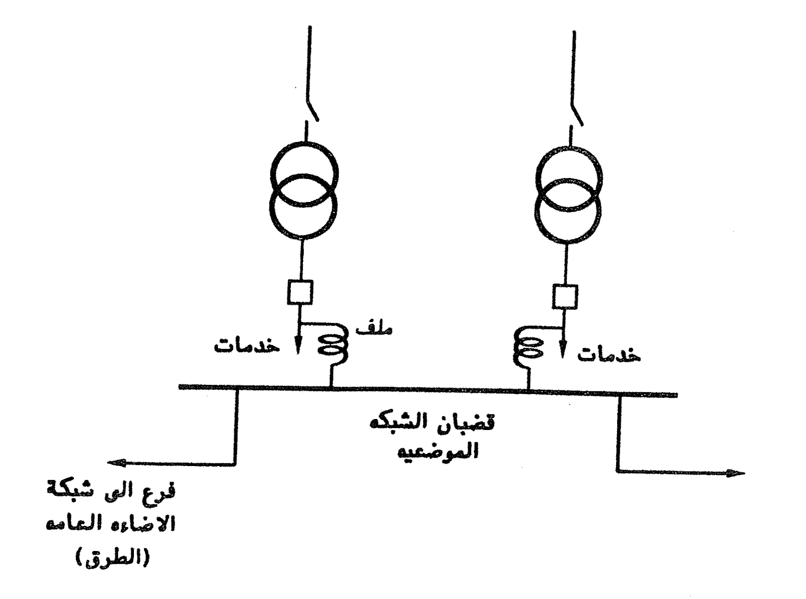
---

(1)الشــبكة الموضــعية: هــى شبكة صغيرة، عادة عند موضع محدد، تتكون من مغذين ابتدائين أو اكثر ومتصل بها حمل خدمى أو اكثر.. مثل المسرح أو المستشفى أو.... (IEEE-100)

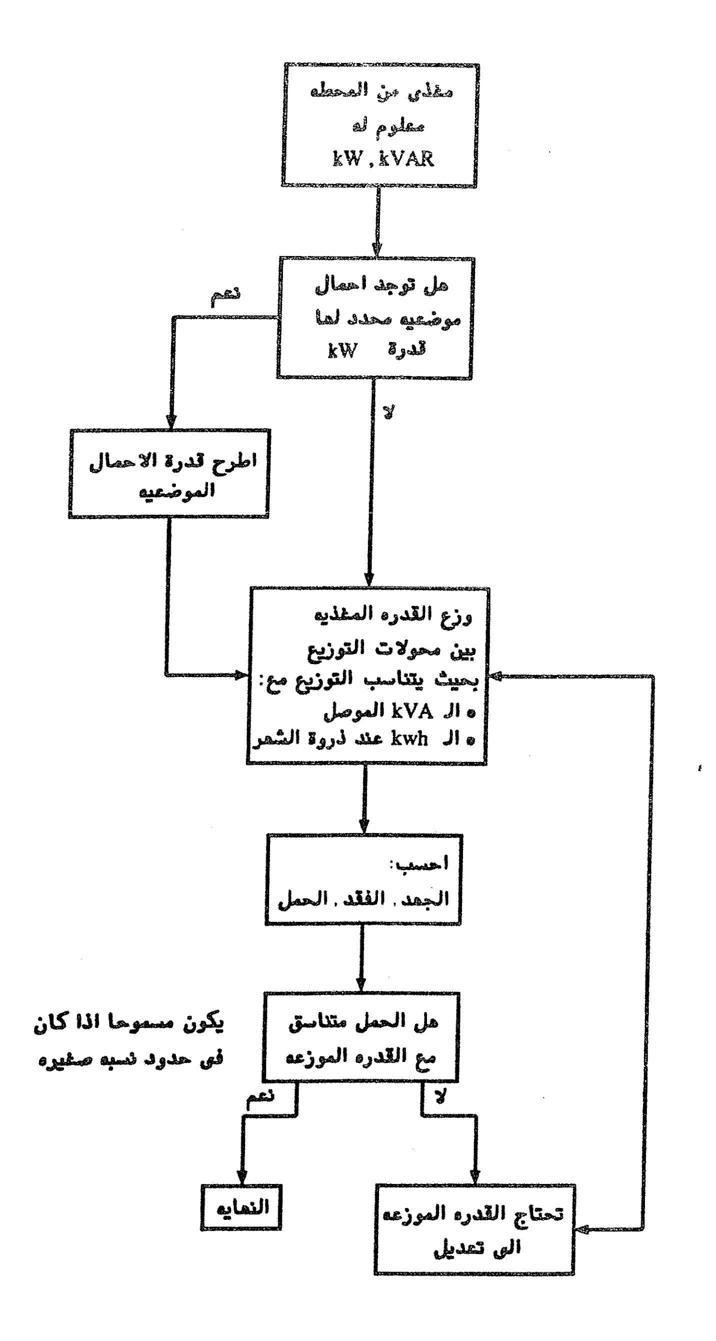


شكل (6 - 12) جزء من شبكة توزيع





شكل (7-12) امثله لشبكات موضعيه



شكل (8 - 12) رسم خطى لتوزيع القدره

(3) يتم توزيع قدرة مصادر التغذية على محولات التوزيع بنسبة السعه المقننه لكل محول.

(4) يحسب هبوط الجهد (voltage drop) ومفقودات القدرة عند ذروه الحمل

(5) لكـل محول توزيع، يقارن بين مجموع القدرة الموزعه والمفقودات وبين حمل المحـول (كقيمه أصلية مسجله فى البيانات) إذا كان الفرق غير منطقى تعاد الخطوات (3) & (4) & (5)

(6) تحسب مفقودات كل مغذى باستخدام عاملات الفقد (loss factor)

يلاحـظ أنه للحصول على نتائج جيدة يجب تكرار الخطوات السابقة ولذا يستخدم برنامج حاسب آلى....

عزل المفقودات الفنية لمحولات التوزيع

توجد طريقتين للحصول على أحمال محولات التوزيع بالشبكة وهما:

(1) يتم اختيار حوالى $\frac{1}{3}$ عدد محولات التوزيع بالشبكة، ويركب على كل محول أميتر حرارى لقياس القدرة (thermal demand ammeter) خلال موسم ذروة الحمل. أو أن يتم القياس اللحظى للحمل وقت ذروه الحمل لأكبر عدد من محولات التوزيع.. بالإضافة إلي قياس منحنى الحمل اليومي (لمدة ٢٤ ساعة) لبعض محولات التوزيع المختاره وذلك باستخدام الاجهـزة المتنقـلة الخاصة بقياس الطاقة(أو قياس المتغيرات الكهربائية) .

(2) تعتبر طريقة إدارة احمال المحول (Transformer load management) TLM، والـتى تتم بمعرفة الطاقة المستهلكه للمشتركين، من الطرق الفعاله لاغلب شركات التوزيع.

تتلخص هذه الطريقة فى الآتى:

أ- يحدد المشتركين على كل محول توزيع.

ب- نحصل على مجموع استهلاكات الطاقة (KWh) لهؤلاء المشتركين من تسجيل عدادات الطاقة لكل مشترك خلال شهر.

ج- يتم حساب قدرة طلب المحول من استهلاكات الطاقة وعدد المشتركين وذلك باستخدام معادلات أو علاقات تجريبيه (empirical relationship) توضع بمعرفة شركات التوزيع.

فمثلا من العلاقات التجريبية المستخدمة فى الولايات المتحده الامريكية [2]

$$\text{KVA Demand} = 7.3 + \left(3.523 * \text{KWh}\right) - \left(0.022 * (\text{KWh})^2\right)$$

حيث KWh هى الطاقة المستهلكه خلال شهر

هــذه العلاقــة تعطــى نتائج جيدة إذا كانت الاستهلاكات KWh's فى الحدود 2000 : 15000 KWh فى الشهر

بعد تحديد القدرة KVA للمحول يتم حساب مفقودات الطاقة والحمل واللاحمل.

عزل الفقد الفنى للشبكة الثانوية

عـادة مـايغذى محول التوزيع عدد كبير من المشتركين ففى النظام الاوربى يتراوح هذا العدد بين 50 إلى 200 مشترك.

توجد طرق متعدده لحساب أحمال الشبكة الثانوية من هذه الطرق:

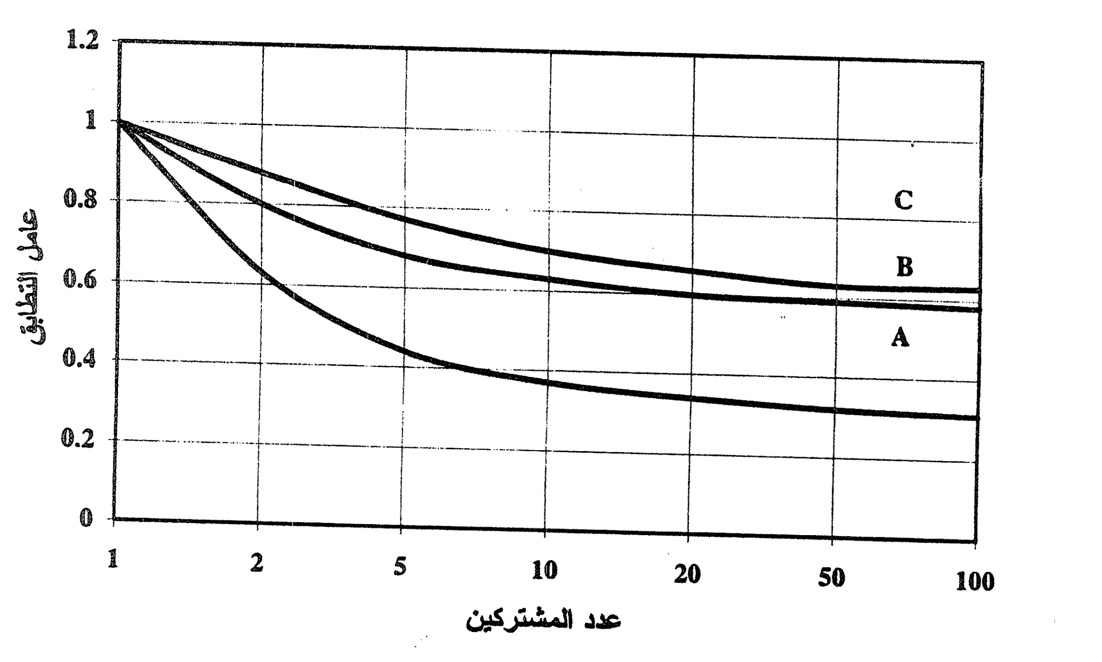
(1) بقياس عدد كافى من المواقع لايجاد الحمل عند المحول وعند المصادر الرئيسية والفروع الثانوية.

(2) بالتوسـع فى استخدام طريقة "إدارة حمل المحول" بحيث تشمل الشبكة الثانوية وذلك بإجراء الآتى:

- نحصل على قدرة المحول بنفس الخطوات المذكوره فى البند السابق
- يـتم توزيع قدرة المحول المحسوبة على أجزاء من الشبكة الثانوية بنفس الخطوات المذكوره فى شكل (12-8)

(3) يجب تحديد ذلك لامكانية حساب أحمال الشبكة الثانوية:

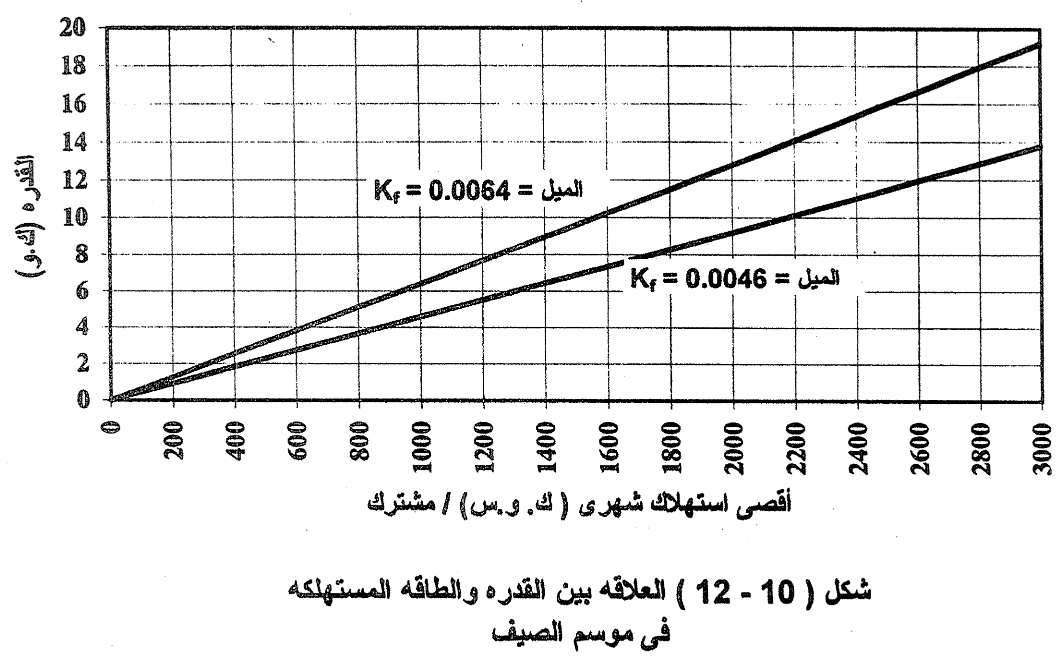
- معـرفة عـاملات الـتطابق (coincidence factors) لأعداد وتصنيفات مخـتلفه مـن المشـتركين.. يمكن الاسترشاد بشكل (12-9) المأخوذ من المرجع [2]
- تحديـد العلاقـة بين الطلب والطاقة المستهلكة شهريا المطلوبة لتصنيفات مخـتلفه مـن المشتركين.. يمكن الاسترشاد بشكل (12-10) المأخوذ من المرجع [2]



شكل (9 - 12) عاملات التطابق النموذجيه لمستهلكى القطاع السكنى

A : مستهلك منزلى بدون مواقد كهربائيه
B : مستهلك منزلى فى وجود مواقد كهربائيه
C : مستهلك منزلى فى وجود أجهزة تكييف





شكل (10 - 12) العلاقه بين القدره والطاقه المستهلكه
فى موسم الصيف

K_f = Conversion factor
= عامل التحويل

الخلاصه:

تتبع الخطوات التالية لحساب الفقد وتحديد المستوى الاقتصادى لجميع مكونات شبكة التوزيع:

(1) يتم اختيار جزء من الشبكة للدراسة تتكون من:

- محطات توزيع فرعية
- خطوط ابتدائية
- محولات توزيع
- خطوط ثانوية

(2) يتم الحصول على الخصائص الفنية والكهربائية للمكونات.. ثم يرسم الرسم الخطى لهذا الجزء من الشبكة (يدويا أو بالحاسب)

(3) تختار دورة الحمل (يوم - أسبوع - شهر..) وتحسب المتغيرات الاتية باستخدام الطرق المشروحه سابقا :

- اقصى طلب
- قدرة الحمل
- عامل الحمل
- عامل الفقد

(4) يحسب الفقد الفنى:

- عند اقصى طلب (قدرة)
- للطاقة

(5) مقارنة الفقد الفنى المحسوب بالقيم القياسية العالمية

(6) يتم اختيار طرق تخفيض المفقودات طبقا للمعده الكهربائية كآلاتي:

أ- المحولات:

- احلال أو تغيير المحولات ذات المفقودات العالية
- ازاحه الاحمال لتخفيض أقصى قدرة
- تركيب مكثفات لتخفيض القدرة غير الفعاله

ب- الخطوط الابتدائية:

- تركيب مكثفات لتخفيض القدرة غير الفعاله
- تغير الموصلات لتخفيض المقاومة
- دراسة فتحات الشبكه
- تغير مستوى الجهد (عاده رفع مستوى الجهد)

جـ- الخطوط الثانوية:

- ازاحة الاحمال
- تغير الموصلات
- حذف او تخفيض الخطوط

(7) يتم حساب التكاليف المصاحبة لكل من :

- القدرة (الطلب، الطاقة)
- الاستثمارات
- العماله
- المواد المستخدمه
- التشغيل و الصيانه
- اخرى

(8) يتم حساب التقييم الاقتصادى للبدائل المختلفة لعناصر تخفيض الفقد.

ثالثا : تجارب بعض الدول لتخفيض المفقودات :

هولندا :

المشروع " استبدال المحولات القديمة "

" مدينة جرونينجين بهولندا وفرت 1.2 MWh سنويا "

ملخص المشروع :

فــي عام 1983 قرر مرفق كهرباء بلدية جرونينجين [1] (Groningen) استبدال 146 محول توزيع قديم (10 / 0.4 KV) بعدد 75 محول توزيع حديث.

المحــولات القديمــة مركبة قبل عام 1955 وذات الاحجام الكبيرة وقدراتها تتراوح بين 400 KVA & 100 KVA وكفاءتها تتراوح بين 98% & 97.5%

الاحمــال الكلــية للشــبكة الكهربائية حوالى 100 MW واستهلاك الطاقة 490 مليون KWh سنويا .

قــدرات المحــولات الجديــدة (بعــدد 75 محــول) اغلبها يتراوح بين 250 KVA & 400 KVA وكفاءتها 99% ومفقــودات الحمل واللاحمــل مثــالية للمحولات قــدره 400 KVA

تم عمل دراسة موازنة بين مستوى الكفاءة العملية العالية وبين التكلفة المقبولة.

ولقــد فرضت الدراسة أن تطبيق المشروع سيوفر طاقة $0.5\ m^3$ من الغاز الطبيعى لكل جيلدر[2] هولندى (guilder) من تكلفــة الاستثــمارات ($1\ KWh = 0.34\ m^3\ gas$).

اعتمدت الدراسة على أن زيادة الحمل ستكون من 65% إلى 80%

انتهى المشروع عام 1984 وكانت النتيجة وفر سنوى 1.2 MWh

انخفضت مفقودات الطاقة بنسبة % 0.25 فى شبكات الجهد المتوســط والمنخفض وأصبحت % 3.8

---

(1) مدينه تعدادها 165000 نسمه تقع فى شمال هولندا

(2) وحدة النقد الهولندى

المحولات القديمة:

جميع المحولات التي تم استبدالها كانت مصنعة قبل عام ١٩٥٥ وصنفت طبقا لقيمة المفقودات إلي:

- محولات مصنعة قبل عام 1940
- محولات مصنعه بين 1948 & 1951
- محولات مصنعه بين 1951 & 1955

نسبيا فإن مفقودات المحولات فى الفترة من 1920 إلى 1940 كانت منخفضة.

بعد الحرب العالمية لم يكن متاحا المواد الخام عالية الجودة لذا زادت المفقودات.

ثم تحسنت جودة المحولات نسبيا بين 1951 وحتى 1955 .

ولقد وجد القائمين على المشروع صعوبة فى توفير قطع الغيار اللازمة للمحولات المصنعة قبل عام 1950 ولذا اعتبرت هذه المحولات كهالك.

يوضح جدول (12-3) قدرة ومفقودات محولات التوزيع القديمة.

قبل عام 1961 كان الجهد المقنن لمحولات التوزيع 380 V ولامكانية مقارنة المفقودات بالمحولات الجديدة فلقد تم تصحيح فقد اللاحمل بالعامل 1.14 للحصول على الفقد عند جهد التشغيل 400V. كذلك تم تصحيح مفقودات الحمل عند درجة حرارة 75°C حيث أن مفقودات الحمل للمحولات القديمة كانت عند درجة حرارة الغرفة.

يوضح جدول (12-4) قدرة ومفقودات محولات التوزيع الجديدة.

ويبين جدول (12-5) مقارنة بين اجمالى قدرة ومفقودات محولات التوزيع الجديدة والقديمة.

حالات التشغيل التى على اساسها تم حساب وفر الطاقة:

- نسبة تحميل المحولات 80%
- متوسط معامل القدرة 0.9
- زمن الحمل (أو الساعات المكافئة للحمل) 3500 ساعة / السنة
- زمن الفقد (أو الساعات المكافئة لحسابات الفقد) 2000 ساعة / السنة
- زمن عدم الحمل (لحسابات فقد اللاحمل) 8760 ساعة / السنة

جدول (3-12) قدرات ومفقودات محولات التوزيع القديمة

القدرة KVA	فقد اللاحمل (عند400V) W	فقد الحمل (عند75°C) W	القدرة KVA	فقد اللاحمل (عند400V) W	فقد الحمل (عند75°C) W	القدرة KVA	فقد اللاحمل (عند400V) W	فقد الحمل (عند75°C) W
75	634	1451	200	684	2850	300	1368	4760
100	684	2000	200	969	3900	300	1630	4590
125	798	2500	200	741	3917	300	1089	5215
150	513	2314	200	1208	3596	300	1094	5200
150	656	2960	200	741	3922	400	1539	5600
150	798	2800				400	1300	6520

جدول (4 -12) قدرات ومفقودات المحولات الجديدة

القدرة KVA	فقد اللاحمل W	فقد الحمل W
50	150	900
100	210	1415
160	310	2050
250	450	2815
400	540	3300

جدول (5-12) مقارنة بين اجمالى قدرة المحولات والمفقودات للمحولات القديمة والجديدة

البند	اجمالى قدرة المحولات KVA	اجمالى مفقودات اللاحمل KW	اجمالى مفقودات الحمل KW
المحولات القديمة	33075	142	587
المحولات الجديدة	23010	35	218

باستخدام البيانات بجدول (5-12) وحالات التشغيل فإن الوفر الناتج 1.2 MWh سنويا ولقد انخفضت مفقودات الطاقة بشبكة التوزيع بنسبة 0.25% .

كمـا تطورت صناعة محولات التوزيع بهولندا لخفض المفقودات ويوضح جدول (6-12) التطور فى مفقودات المحولات قدرة 400 KVA & (10 / 0.4 KV)

جدول (6 -12) تطور المواصفات القياسية الهولندية لمفقودات محول التوزيع قدرة (10 / 0.4 KV) & 400 KVA

السنة	مفقودات اللاحمل W	مفقودات الحمل W	الجهد V
1968	680	4000	400
1972	680	4000	400
1976	640	4000	400
1984	600	4000	400
1991	680	3100	420
1995	515	3750	420

Source : [6]

الباب الثالث عشر

الفقد و التوافقيات

Losses and Harmonics

نتيجة انتشار الأحمال غير الخطية مثل مديرات السرعة المتغيرة (adjustable speed drives) والمبدلات (inverters) و العاكسات (converters) وجميع الاجهزة المحتوية على دوائر إلكترونية .. أصبحت جميع الأحمال تقريبا توصف بأنها مشوهه بالتوافقيات سواء بموجه الجهد أو بموجه التيار أو الاثنين معا ، والتى تسبب مشاكل لكل من مكونات شبكة التغذية الكهربائية و المعدات الإلكترونية الحساسة ..

يؤدى ارتفاع مستوى التوافقيات بمكونات الشبكات الكهربائية و لدى المستهلكين الى مشاكل متعددة منها انهيار مكونات الشبكات ، والفصل الخاطئ لأجهزة الحماية ، وانهيار المصهرات و زيادة المفقودات .

سنتعرض فى هذا الباب الى تأثير التوافقيات على مفقودات مكونات الشبكه الكهربائية مثل المحولات و الكابلات و المكثفات و المحركات ..

نحتاج لبعض التعريفات للمساعده فى هذا الباب مثل:

- **التوافقيات (Harmonics) :**

هى مركبات جيبيه يكون ترددها مضاعفا صحيحا للتردد الاساسى (50 هرتز او 60 هرتز) . مثال ذلك التوافقية التى لها تردد مساوى لضعف التردد الاساسى و التى تسمى"التوافقية الثانية"

- **موجه مشوهه (Distorted Waveform):**

تغير شكل الموجه أثناء انتقالها، اى موجه غير جيبيه الشكل ، تتشوه موجه التيار نتيجة الأحمال ذى الخصائص غير الخطية (non-linear) مثل الاجهزه المحتوية على الكترونيات القوى و افران القوس الكهربى وماكينات اللحام...

يؤدى التشوه فى موجه التيار الى :

- سخونه زائدة فى ملفات المحولات و المحركات
- زيادة مفقودات الحديد بالمعدات المحتوية على قلب حديدي
- حدوث تداخل مغناطيسي مع دوائر التليفونات
- زيادة تيار مسار التعادل و بالتالي زيادة المفقودات
- انهيار المصهرات
- أعطال بالمكثفات
- التشغيل الخاطئ لاجهزه القياس و الوقاية

ويؤدى التشوه فى موجه الجهد الى :

- زيادة الاجتهادات الكهربائية فى المواد العازلة
- تكوين شحنه كهروستاتيكية تؤثر على الخطوط المجاورة و كابلات التليفونات
- احتمال حدوث رنين عند بعض التوافقيات الفردية (مثل التوافقية الثالثة)
- زيادة الجهد بين نقطة التعادل و الأرضي
- مشاكل فى مكونات الحاسبات الشخصية و التى عاده تظهر اولا فى صوره مشاكل فى برامج الحاسبات ٠

تتأثر مفقودات مكونات الشبكات الكهربائية بتوافقيات التيار او الجهد او الاثنين معا وتكون المكونات الرئيسية للشبكات المتأثرة بالتوافقيات هى خطوط النقل و محولات القوى بينما المكونات المتأثرة لدى شبكة المشتركين هى محولات التوزيع والكابلات والمحركات والمكثفات ٠ ٠ستتعرض فيما يلى لتأثير التوافقيات على مفقودات كل مكون

اولا :مفقودات المحولات فى وجود التوافقيات:

تؤثر التوافقيات فى عزل المحولات و تؤدى الى تشبع القلب (saturate the core) وتزيد التشويش (noise) و تسبب زيادة المفقودات الكهربائية.

تتكون مفقودات المحول من مفقودات اللاحمل (No Load Losses) ومفقودات الحمل (Load Losses) وتزيد هذه المفقودات نتيجة تشوه موجتى الجهد والتيار بالتوافقيات . مفقودات اللاحمل (أو مفقودات القلب أو مفقودات الحديد) هى عبارة عن مفقودات قلب المحول (نتيجة التيارات الاعصارية eddy currents والتخلفية hysteresis) فى الدائره المغناطيسه ..وتتأثر هذه المفقودات بتوافقيات الجهد فقط ..
تتكون مفقودات الحمل أساسا من مفقودات $I^2 R$ أوالنحاس (I^2R or copper losses) ومفقودات التيارات الاعصارية (eddy current losses).
تؤدى توافقيات التيار الى زيادة هذه المفقودات كالاتى:

أ- مفقودات $I^2 R$

تعتبر توافقيات التيار عامل مؤثر فيما يعرف بظاهرة السطح (Skin effect) ، (و تعرف هذه الظاهرة بأنها ظاهرة كهرومغناطيسية تحدث فى الموصل عندما يحمل تيارا مترددا (AC) ، تؤدى الى عدم انتظام توزيع التيار ، خلال مقطعه بحيث تزيد كثافة التيار قرب سطح الموصل عنها عند مركزه، مسببه ارتفاع مقاومه الموصل مع زيادة التردد المستخدم)
و حيث ان للتوافقيات ترددات أعلى من التردد الأساسي (50 أو 60 هرتز) للتيار فان تيارات التوافقيات تتجه للمرور بالحافة الخارجية للموصلات ..
يؤدى ذلك الى تقليل المساحة الفعالة للمقطع و بالتالى تزيد مقاومته ، الزيادة فى المقاومة تسبب زيادة مفقودات $I^2 R$ مؤديا الى تخليق مرور تيار والذى لايتوزع بالتساوى خلال الموصل ، وهذا يزيد مشكلة المفقودات تعقيدا .

ب- مفقودات التيارات الاعصارية

تؤدى المجالات الكهرومغناطيسية الشارده الى حدوث تيارات اعصارية فى ملفات المحول والقلب والأجزاء الهيكلية الأخرى. هذه التيارات الاعصارية تسبب المفقودات التى تزيد جوهريا عند الترددات العالية .

للأحمال الخطية فإن مفقودات التيارات الاعصارية تمثل حوالى 5% من المفقودات الكلية ، بينما للأحمال غير الخطية فان هذه المفقودات تصبح مؤثرة و تزيد لاكثر من 15 أو 20 مرة .

نتيجة الأحمال غير الخطية يمر بين الطور و مسار التعادل تيارات اعصارية عالية فى الملفات الابتدائية ، هى التوافقية الثالثة و مضاعفاتها الفردية الثلاثية (--- 3 ,9,15) والتى تمثل مركبة التتابعية الصفرية (zero phase sequence) حيث تمر بمسار التعادل و تحبس فى الملفات الابتدائية للمحول (و التى تكون موصله على شكل دلتا Δ) ، كلما مرت هذه التيارات بالملفات الابتدائية للمحول كلما زادت مفقودات $I^2 R$ و المفقودات الاعصارية .

ستتعرض فيمايلى لمفقودات المحولات فى وجود التوافقيات :

- الطريقة الاولى طبقا للمواصفات القياسه الامريكية [4]
- الطريقة الثانية طبقا للمرجع [8]
- الطريقة الثالثة طبقا للمرجع [9]
- الطريقة الرابعه طبقا للمرجع [10]

(أ) الطريقة الاولى [4]

طبقا للمواصفات القياسية العالمية [5] (ANSI /IEEE C57.12.80-1987) و [6] (ANSI /IEEE C57.12.91 -1979) صنفت مفقودات المحولات الى :

- فقد اللاحمل no-load loss (فقد الاثارة excitation loss)
- فقد الحمل load loss (فقد المعاوقه impedance loss)

وان المفقودات الكلية هى مجموع فقد اللاحمل وفقد الحمل .

ويتقسم فقد الحمل الى فقد I^2R و الفقد الشارد (stray loss)

يعرف الفقد الشارد بانه الفقد الناتج من المجال الكهرومغناطيسى الشارد فى الملفات والقلب و الرباطات و الدروع المغناطيسيه (magnetic shields) و حوائط الخزان .

و على ذلك يقسم الفقد الشارد الى فقد شارد بالملفات (winding stray loss) و فقد شارد فى باقى المكونات (غير الملفات) .

يشمل الفقد الشارد بالملفات على فقد التيارات الاعصاريه بالموصلات المجدولة للملف (winding conductor strand eddy-current loss) ، و الفقد نتيجة التيارات الدائرية بين الموصلات المجدولة أو بين دوائر الملفات المتوازية (loss due to circulating currents between strands or parallel winding circuits) وعلية يمكن اعتبار جميع هذه المفقودات هى فقد التيارات الاعصاريه فى الملف (winding eddy-current loss) يوضح شكل (13-1) تمثيل لمكونات مفقودات المحولات و عليه فان الفقد الكلى للحمل هو :

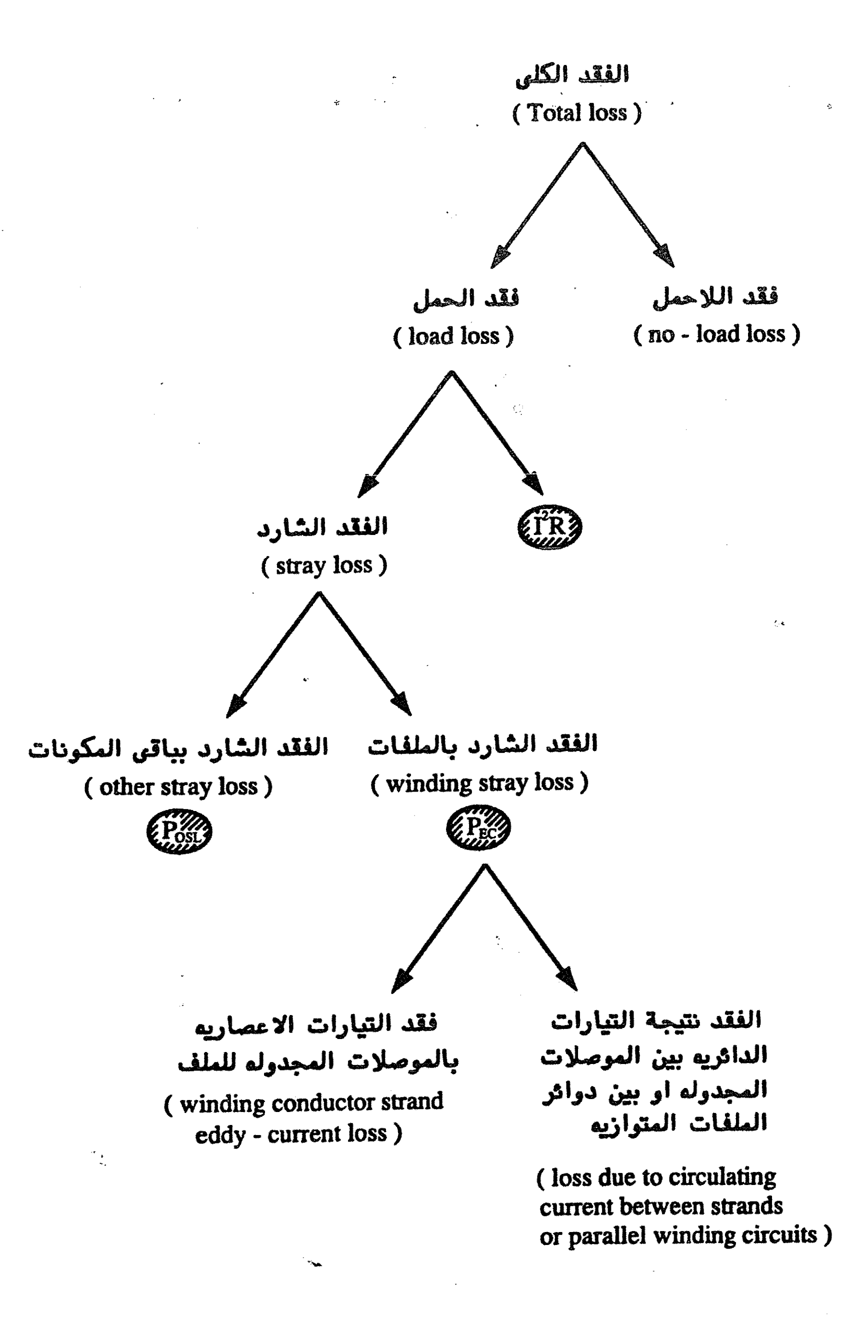
$$P_{LL}=I^2R+P_{EC}+P_{OSL} \qquad (1)$$

حيث:

P_{LL} = (load loss) فقد الحمل

P_{EC} = (winding eddy-current loss) فقد التيارات الاعصارية بالملف

P_{OSL} = (other stray loss) الفقد الشارد الاخر



شكل (1 - 13) تمثيل لمفقودات المحولات

فيما يلى تأثير التوافقيات على فقد المحول

* تأثير تيار التوافقيات على فقد I^2R

اذا زادت قيمه جذر متوسط مربعات (rms) تيار الحمل نتيجة مركبات التوافقيات فان فقد I^2R سوف يزيد تبعا لذلك

(I هو جذر متوسط مربعات تيار الحمل rms load current

R هو مقاومه التيار المستمر dc resistance)

* تأثير التوافقيات على P_{EC}

يتناسب فقد التيارات الاعصاريه بالملفات (P_{EC}) عند طيف تردد القدرة مع مربع التيار و مربع التردد . هذا يؤدى الى فقد زائد بالملفات و بالتالى ارتفاع غير عادى فى درجة حراره الملفات و ذلك للمحولات المغذية لتيارات احمال غير خطية

* تاثير التوافقيات على P_{OSL}

نتيجة تيارات الاحمال غير الخطية تزيد مفقودات P_{OSL} وتزيد درجة حرارة الاجزاء الاخرى (غير الملفات) بدرجة اقل من حالة تاثير مفقودات P_{EC} على الملفات

* مركبات التيار المستمر بتيار الحمل

يصاحب توافقيات تيارات الحمل وجود مركبة تيار مستمر(dc component) فى تيار الحمل . هذه المركبة تـزيد فقد قلب المحـول ببطئ ، و ايضا تزيد تيار المغنطه (magnetizing current) بالاضافة الى ارتفاع مستوى الضوضاء ..

استنتاج معادلة الفقد فى حالة وجود التوافقيات :

نحصل على جذر متوسط مربعات التيار فى حالة وجود التوافقيات من المعادلة

$$I = \left[\sum_{h=1} \left(I_h\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{amp} \qquad (2)$$

$$I_{(pu)} = \left[\sum_{h=1} \left(I_h(pu)\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (3)$$

$$P_{EC} = P_{EC-R} \sum_{h=1} \left[\frac{I_h}{I_R}\right]^2 h^2 \quad \text{Watts} \qquad (4)$$

$$P_{EC}(pu) = P_{EC-R}(pu) \sum_{h=1} I_h^2(pu)\ h2 \qquad (5)$$

بالتعويض بالمعادلتين (3) ، (5) فى المعادلة (1) نحصل على الفقد الكلى للمحول فى وجود التوافقيات

$$P_{LL-R}(pu) = 1 + P_{EC-R}(pu) + P_{OSL-R}(pu) \qquad (6)$$

حيث:

$P_{LL-R}(pu)$=Load Loss density (Per unit of rated Load I^2R Loss density)

= كثافة فقد الحمل (بالوحدة الكسريه منسوبة لكثافة فقد I^2R عند الحمل المقنن)

$P_{EC-R}(pu)$ =Winding eddy-current loss under rated conditions (Per unit of rated load I^2R loss)

= فقد التيارات الاعصاريه للملفات عند الحالات المقننة (بالوحدة الكسرية منسوبة لفقد I^2R عند الحمل المقنن)

$P_{OSL-R}(pu)$=other stray loss under rated conditions (Per unit of rated load I^2R loss)

= الفقد الشارد الآخر عند الحالات المقننة (بالوحدة الكسرية منسوبة لفقد I^2R عند الحمل المقنن)

ب- الطريقة الثانية [8]

بفرض إهمال ظاهرة السطح (Skin effect) فان مفقودات القدرة الفعالة (active power losses) فى المحولات (ويمكن اتباع نفس الطريقة عند حساب مفقودات الكابلات فى وجود التوافقيات) تخضع للمعادلة التالية :

$$P_{LL} = I^2R$$

$$= R * \left[\sum_{h=1} I_h\right]^2$$

$$= R * I_1^2 + R * \sum_{h=2} I_h^2 \qquad (7)$$

اى تنقسم مفقودات القدرة الفعالة الى مفقودات القدرة الفعالة عند التردد الأساسي $(R * I_1^2)$ و مفقودات القدرة الفعالة عند تردد التوافقيات $(R * \sum_{h=2} I_h^2)$

و تكون النسبة بين مفقودات القدرة الفعالة نتيجة التوافقيات و مفقودات القدرة الفعالة عند التردد الأساسي كالآتى :

$$\frac{R * \sum_{h=2} I_h^2}{R * I_1^2} = \frac{\sum_{h=2} I_h^2}{I_1^2} \qquad (8)$$

و من تعريف التوافقيات الكلية للتيار ITHD
(Current Total Harmonic Distortion)

$$ITHD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2} I_h^2}}{I_1} \qquad (9)$$

بمقارنة المعادلتين (8) ، (9) نجد ان

النسبة بين مفقودات القدرة الفعالة نتيجة التوافقيات و مفقودات القدرة الفعالة عند التردد الأساسي تساوى مربع التوافقية الكلية للتيار اى $(ITHD)^2$ وذلك عند إهمال ظاهرة السطح .

جـ- الطريقة الثالثة [9]

تحسب مفقودات التوافقيات الكلية تبعا للمعادلة التالية :

$$P_h = \frac{P_N}{(1+K_w)} \cdot \sum_h \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2 \left[1 + \frac{K_w \sum_h \left(\frac{hI_h}{I_1}\right)^2 K_{h1}}{\sum \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \right] \qquad (10)$$

حيث:

P_h =total harmonics losses

= المفقودات الكليه فى وجود التوافقيات

P_N = nominal sinusoidal lossos (function of power)

= المفقودات عند الموجه الاساسية (بدلاله القدرة)

I_1 = fundamental current value

= قيمة التيار عند التردد الاساسى

I_N = nominal current value

= قيمة التيار المقنن

I_h =current of harmonic order h

= h تيار التوافقية

K_w = iron loss coefficient =0.04

= معامل فقد الحديد

$$K_{h1} = -0.87 + (3.853 \times \sqrt{h}) - (2.263 \times h) + (0.1058 \times h^{1.5}) + (0.2337 \times h^2) - (0.06478 \times h^{2.5}) + (0.0052535 \times h^3)$$

5- الطريقة الرابعه [10]

جميع التوافقيات تؤدى الى زيادة المفقودات فى قلب و ملفات المحول ٠ تسبب التيارات الدائرية (circulating current) فقد زائد وارتفاع درجة حرارة الملفات و تزيد المفقودات الاعصاريه والمغناطيسية (Magnetic and eddy losses) بزيادة التوافقيات ذات الترددات العالية ٠

فيما يلى معادلة حساب فقد التيارات الاعصارية

$$P_{eh} = P_{ef} \sum_{h} I_h^2 h^2 \qquad (11)$$

حيث:

P_{eh} = total eddy current loss

= فقد التيارات الاعصارية الكلى

P_{ef} = eddy current loss at fundamental frequency

= فقد التيارات الاعصارية عند التردد الأساسي

h =harmonic order

= درجة التوافقية

I_h =rms current at harmonic h as % of rated fundamental current

= جذر متوسط مربعات تيار التوافقية h كنسبة من التيار الأساسي المقنن

بينما يحسب فقد التيارات الشاردة (stray losses) طبقا للمعادلة :

$$P_{sh} = P_{sf} \sum_{h} I_h^2 \, h^{0.8} \qquad (12)$$

حيث:

P_{sh}=total stray current loss

=الفقد الكلى للتيارات الشاردة

P_{sf}=stray current loss at fundamental frequency

= فقد التيارات الشاردة عند التردد الأساسي

h =harmonic order

= درجة التوافقية

I_h=rms current at harmonic h as % of rated fundamental current

= جذر متوسط مربعات تيار التوافقية h كنسبة من التيار الأساسي المقنن

ثانيا : مفقودات الكابلات فى وجود التوافقيات

تحسب مفقودات الكابلات فى وجود التوافقيات تبعا للمعادلة الآتية :

$$P_J = L * \sum_{h \neq 1} \sum_{j} \left(r_{hj} \cdot I_{hj}^2 \right) \qquad (13)$$

حيث:

L = length of a section of line

= طول قطاع من الخط

h =harmonic order

= درجة التوافقية

J = zero , positive and negative sequence component

(or J = 0,1,2)

=مركبة التتابعية الصفرية و الموجبة و السالبة

r_{hj}=component j,s resistance to harmonic order h that includes skin effect

= مركبة التتابعية j للمقاومه عند التوافقية h والمحتوية على ظاهرة السطح

I_{hj}=rms current of harmonic order h at sequence j

= جذر متوسط مربعات تيار التوافقية h عند مركبة التتابعية j

او يمكن استخدام العلاقة التقربيية التالية :

$$P_{ch} = L * \sum_{h \neq 1} r_h \; I_h^2 \qquad (14)$$

حيث:

P_{ch}= harmonic losses

= مفقودات التوافقيات

L = length of a cable

=طول الكابل

I_h =current of harmonic order h

=h تيار التوافقية

r_h = resistance of cable to harmonic order h (or $R_{a.c}$)

=($R_{a.c}$ المقاومه) h مقاومة الكابل عند التوافقيه

يستخدم جدول (13-1) للحصول على أقصى قيم مسموحه للمقاومة $R_{d.c}$ لمقاسات مختلفة للكابلات ، ثم عن طريق جدول (13-2) او شكل (13-2) نحصل على $R_{a.c}$ (او r_h) تبعا لتردد (f) التوافقية

جدول (13-1) أقصى قيم للمقاومه $R_{d.c}$

مقاس الكابل mm^2	ألومنيوم (اوم /كم) (Ω/ km)	نحاس (اوم /كم) (Ω/ km)
70	0.433	0.255
95	0.319	0.188
120	0.255	0.149
150	0.202	0.119
185	0.164	0.097
240	0.126	0.074

جدول (13-2) العلاقة بين تردد التوافقية ومقاومة الكابل

$(f / R_{d.c})$ ^ 0.5	$R_{a.c} / R_{d.c}$
0	1
25	1.05
50	1.15
75	1.5
100	2.1
125	3.5
150	5.2

ثالثا: مفقودات المحركات فى وجود التوافقيات

تسبب الموجات المشوهة بالتوافقيات مفقودات زائدة بالمحركات . وعلى ذلك ترتفع المفقودات الإضافية يسبب توليد المجالات بمحدثه للتوافقيات لكل توافقية مركبة تتابعيه صفرية و سالبة و موجبة (zero, negative and positive sequence) و التى تشير الى اتجاه الدوران (عند تسليطها على محرك تأثيري)منسوبة الى الاتجاه الموجب الأساسي يوضح جدول (13-3) رقم التوافقية و التتابعية المقابلة لها.

جدول (13-3)

رقم التوافقية (Harmonic No.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
تتابع طورى (phase sequence)	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0

تولد توافقيات التتابعية الصفرية (وهى التوافقية الثالثة و مضاعفتها الثلاثية) مجال ثابت، ويكون تردد مجال التوافقيات أعلى ، وبالتالي تزيد توافقيات المغنطة وتتبدد طاقة التوافقيات على صورة حرارة ..

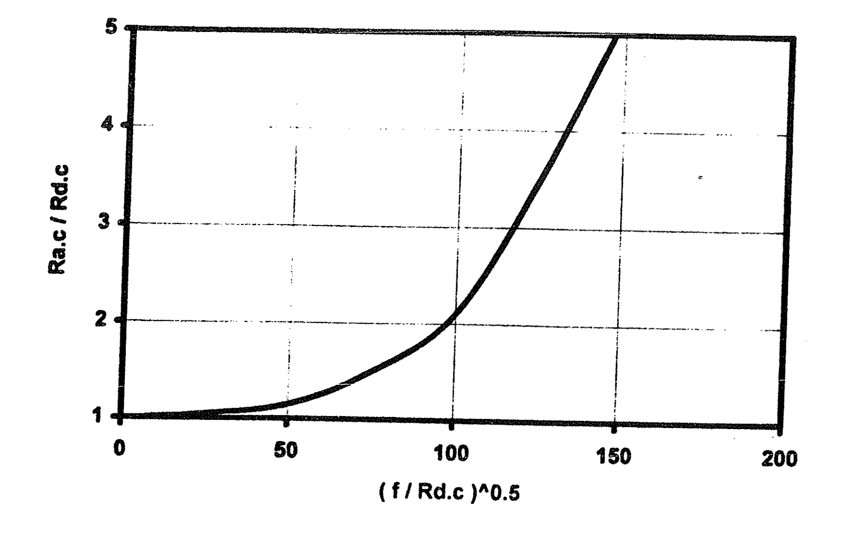
تحدث توافقيات التتابعية السالبة مجال يدور فى الاتجاه العكس (بالنسبة للاتجاه الأساسي) والنتيجة عزم منخفض و مفقودات عالية .

بينما تحدث توافقيات التتابعية الموجبة مجال يدور فى الاتجاه الأمامي و الذي يضاف للعزم ، كل ذلك يسبب اهتزازات وانخفاض عمر تشغيل المحرك .

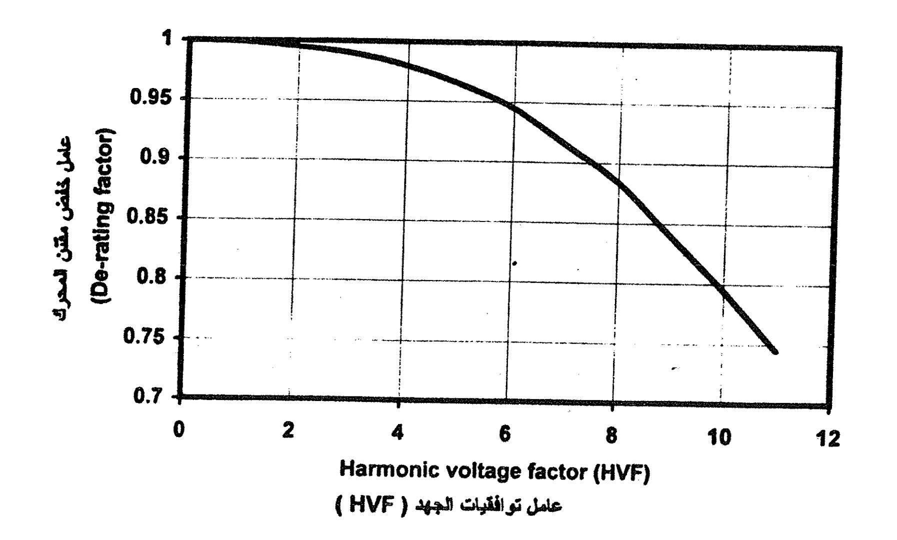
فى وجود التوافقيات يجب تخفيض مقنن المحرك (de-rating)

يوضح شكل (13-3) العلاقة بين عامل تخفيض المقنن وعامل توافقيات الجهد و يعرف عامل توافقيات الجهد كالآتي :

$$HVF = \left[\sum_{h=5} \frac{V_h^2}{h}\right]^{1/2} \quad (15)$$



شكل (2 - 13) العلاقه بين Ra.c & Rd.c للكابلات



شكل (3 - 13) منحنى العلاقه بين عامل خفض مقنن المحرك وعامل توافقيات الجهد

حيث:

HVF=harmonic voltage factor

= عامل توافقيات الجهد

V_h =rms voltage at the h^{th} harmonic as % of the fundamental

= جذر متوسط مربعات الجهد عند التوافقية h كنسبة من الجهد الأساسي

H =order of add harmonic, excluding triple – h harmonics

= درجة التوافقية الفردية ،ماعدا التوافقية الثالثة و مضاعفاتها الثلاثية

عموما يحسب الفقد الكلي للمحرك تبعا للمعادلة :

$$P_N = 0.746*HP*(100-\eta)/\eta \qquad (16)$$

حيث:

P_N =power loss for motor

= فقد القدرة للمحرك

HP =rated horsepower

= مقنن القدرة الحصانية

تسبب توافقيات الجهد مفقودات بالمحرك تبعا للمعادلة:

$$\frac{P_h}{P_N} = \frac{P_1}{P_N} + 35*\left[\frac{V_1}{V_N}\right]^2 * \sum_{h=2} \frac{1}{h}\left[\frac{V_h}{V_1}\right]^2 \qquad (17)$$

حيث:

P_h =losses due to h harmonic

=h المفقودات نتيجة التوافقية

P_1 =losses due to fundamental voltageV_1

=V_1 المفقودات عند الجهد الأساسي

V_1 =fundamental voltage value

=قيمه الجهد الأساسي

V_N =nominal voltage value

= قيمه الجهد المقنن

V_h =voltage of harmonic order h

= h جهد التوافقية

رابعا : مفقودات المكثفات فى وجود التوافقيات

يعبر عن المفقودات فى العازل الكهربي [1] (dielectric losses) للمكثفات عند التردد الأساسي بالمعادلة التالية:

$$P_N = 2\pi f h C \ (\tan \delta_1) V_N^2 \qquad (18)$$

بالمثل تكون المفقودات فى العازل الكهربي للمكثفات نتيجة وجود التوافقيات تحصل عليها من المعادلة :

$$P_h = 2\pi f h C (\tan \delta_h) V_N^2 \qquad (19)$$

حيث δ عامل التبدد [2] (dissipation factor) و بفرض تساوى عاملات التبدد $(\delta_1 = \delta_2 = ... = \delta_h)$ و أن $V_1 = V_N$ نحصل على معادلة فقد المكثف بدلالة الفقد المقنن كالآتي :

$$p_h = p_N \sum_h h * \left[\frac{V_h}{V_1}\right]^2 \qquad (20)$$

---

(1) المفقودات فى العازل الكهربي :هى القدرة او الطاقة الكهربائية المبددة فى صورة فى العازل عند تعرضه لمجال كهربي عالي التردد تنتج الحرارة من احتكاك جزئيات العازل بسبب الانعكاس المتتالي فى القطبية •

(2) عامل التبدد: هو نسبة الفاقد فى الطاقة فى كل دورة الى الطاقة المخزنة الكلية و التى تساوى حاصل ضرب (2π) فى متوسط الطاقة المختزنة

الباب الرابع عشر
تعويض القدرة غير الفعالة
وتأثيرها على تخفيض المفقودات بالشبكة الكهربائية

سنتعرض فى هذا الباب للعناصر التالية:

أولا: التعويض باستخدام مكثفات على شبكة الجهد المتوسط

- المفقودات الناتجه من نقل القدرة غير الفعالة

ثانيا : تأثير المكثفات على مفقودات خطوط الجهد المتوسط

أ- تخفيض مفقودات القدرة غير الفعالة

ب- تخفيض مفقودات الطاقة غير الفعالة

ج- الوفر فى سعة النقل

ثالثا : تخفيض مفقودات القدرة غير الفعالة بمحولات التوزيع بتركيب مكثفات جهد منخفض

أ – تخفيض مفقودات القدرة الفعالة بخطوط الجهد المتوسط نتيجة تركيب مكثفات على محول التوزيع

ب- تخفيض مفقودات الطاقة الفعالة بخطوط الجهد المتوسط نتيجة تركيب مكثفات على محول التوزيع

ج- تخفيض مفقودات القدرة غير الفعالة بمحولات التوزيع

د- تخفيض مفقودات الطاقة غير الفعالة بمحولات التوزيع

هـ- الوفر فى سعة النقل

رابعا : معامل القدرة وتخفيض المفقودات

أولا: تعويض القدرة غير الفعالة (Reactive Power Compensation)

لتعويض القدرة غير الفعالة بالشبكات الكهربائية فوائد متعددة منها ما يخص العميل ممثلا في المنشآت الصناعية ... ومنها ما يفيد الشبكة الكهربائية المغذية ..

من الفوائد الخاصة بالمنشآت الصناعية :

- تخفيض القدرة الظاهرية (KVA) وبالتالي إمكانية إضافة أحمال جديدة بدون الاحتياج إلى إنشاءات أو توسعات جديدة بالشبكة الداخلية
- تخفيض التيار المار بين موضع المكثفات وبين مصدر التغذية الكهربائية
- التخلص من دفع القيمة المقابلة لانخفاض معامل القدرة (Power Factor Penelty)

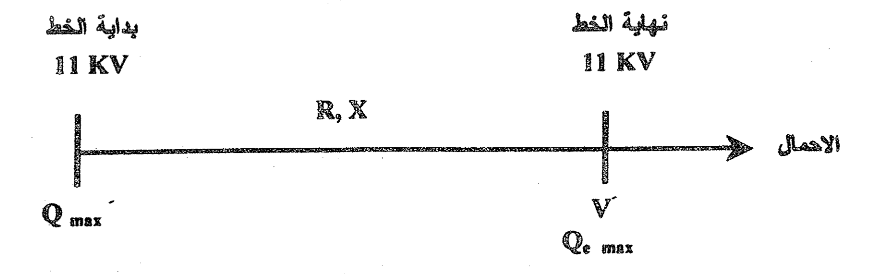
من الفوائد الخاصة بشركات توزيع الكهرباء :

- تخفيض مفقودات القدرة (KW) ومفقودات الطاقة (KWH)
- تخفيض الاستثمارات اللازمة لإنشاء محطات أو توسعات .. لأن تركيب المكثفات يؤدى إلى تخفيض التيار عند نفس قيمة الحمل (KW) وبالتالي تخفيض مقنن KVA للمعدات المطلوبة لنفس الحمل .. أو توفر سعة (KVA) تسمح بتغذية بعض المشروعات المؤجلة أو المطلوبة حديثا نتيجة التطور الطبيعي في الأحمال
- ضبط أو تحسين نسبة الهبوط في الجهد (Voltage drop) أو تحسين الجهد عند نفس الحمل (KW).

تعتمد هذه الفوائد على مكان تركيب المكثفات .. فيمكن أن تركب المكثفات عند مغذيات التوزيع – جهد متوسط – أو عند مخرج محول التوزيع ، أو على التوازي مع مصدر تغذية العميل (شبكة الجهد المنخفض لمنشأة صناعية مثلا)

في هذا الباب سنتعرض فقط لميزه انخفاض المفقودات

- المفقودات الناتجة من نقل القدرة غير الفعالة



يؤدى نقل القدرة غير الفعالة الى ظهور مفقودات فى القدرة الفعالة وذلك تبعا للمعادلة الآتية :

$$P_Q = \frac{Q^2_{max}\ R}{V^2} = \left(\frac{1 + Pe + Pe^2}{3}\right) \qquad (1)$$

حيث :

$P_Q =$ فقد القدرة الفعالة نتيجة القدرة غير الفعالة

$R =$ مقاومة الخط

$V =$ جهد الخط

$P_e =$ الحمل غير الفعال عند نهاية الخط والذى يتناسب مع الحمل غير الفعال عند بداية الخط

$$= \frac{Q_{e\,max}}{Q_{max}}$$

$Q_{max} =$ أقصى قيمة للحمل غير الفعال عند بداية الخط

$Q_{emax} =$ أقصى قيمة للقدرة غير الفعالة عند نهاية الخط

لحساب فقد الطاقة تستخدم المعادلة (1) وزمن الاستعمال السنوى للفقد (annual utilization time of losses) تبعا للمعادلة الآتية :

$$E_Q = P_Q * L_s.F * 8760 \qquad (2)$$

حيث :

E_Q = فقد الطاقة السنوي نتيجة القدرة غير الفعالة

$L_s.F$= (annual loss Factor) عامل الحمل السنوي

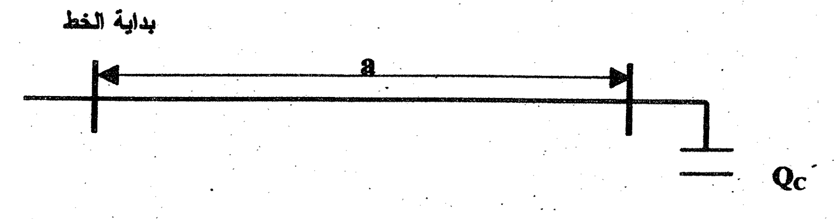
يوضح شكل (1-14) العلاقة بين زمن استعمال الحمل وزمن الاستعمال للفقد سنويا

ثانيا : تأثير مكثفات القوى على مفقودات الخطوط

أ- تخفيض مفقودات القدرة الفعالة

عند تركيب مكثفات على مغذى جهد متوسط ، فإن الانخفاض في فقد القدرة عند أقصى طلب نحصل عليه من المعادلة :

$$P = a\,q\frac{RQ_{max}^2}{V^2}\left[\left(P_e - 1\right)a + 2 - q\right] \qquad (3)$$



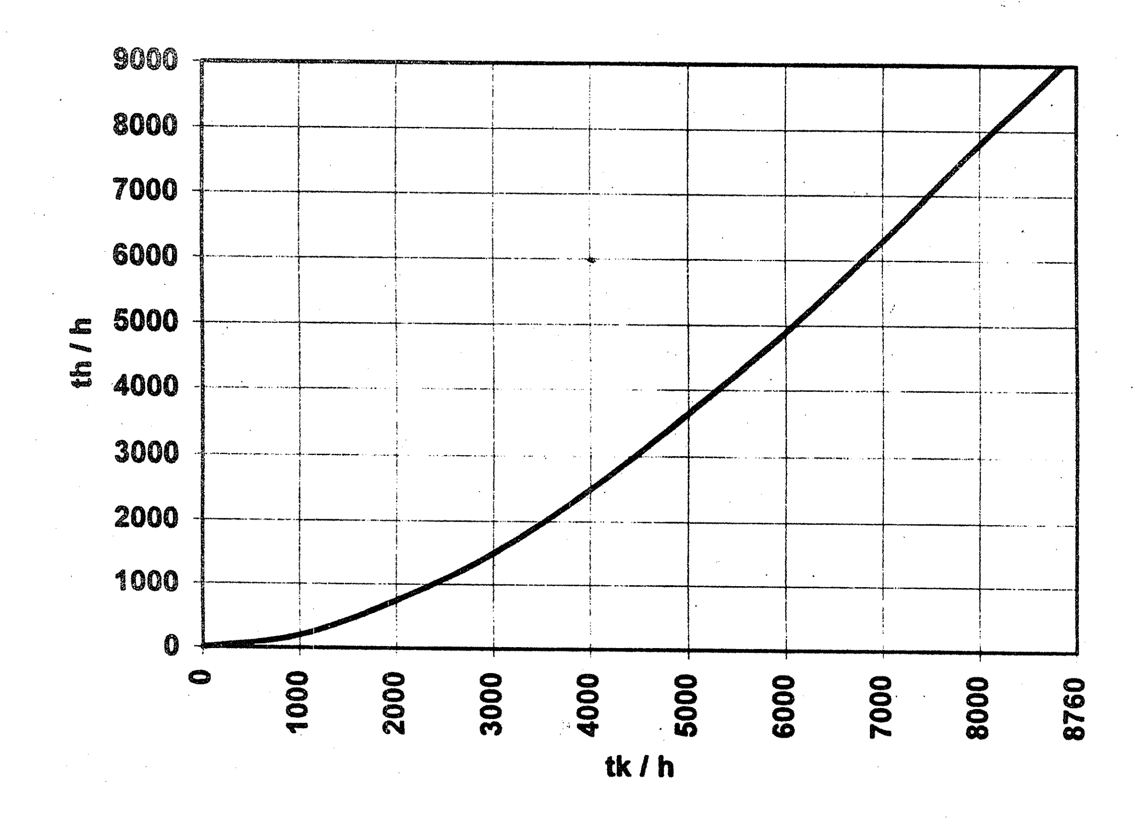
حيث :

P = الانخفاض في فقد القدرة للمغذى

a = المسافة النسبية من بداية الخط وحتى المكثف

$q = \frac{Q_C}{Q_{max}}$ = Compensation Factor عامل التعويض

Q_C = قدرة لوحة المكثفات



شكل (1 - 14) العلاقه بين زمن استعمال الحمل وزمن استعمال الفقد

ب- تخفيض مفقودات الطاقة في خطوط الجهد المتوسط

يعتمد عائد انخفاض مفقودات الطاقة الفعالة على نوع نظام التعويض ، اذا كان ثابت (fixed) أو قابل للتحكم (Controllable) . تعتبر المكثفات القابلة للتحكم عالية التكلفة، لذا فإن تكلفة وفر الطاقة تعتبر مرتفعة في حالة تخفيض المفقودات من خلال مكثفات قابلة للتحكم .

نحصل على وفر الطاقة تبعا للمعادلة :

$$E = \frac{aqRQ_{max}^{2}T}{V^{2}}\left[(P_e - 1)\ \ a.LF + 2.LF - q\right] \qquad (4)$$

حيث :

$LF=$ عامل الحمل

$T=$(8760 ساعة / السنة) (The examination period) دورة الفحص

ج- الوفر فى سعة النقل (Released transmission capacity)

بتعويض القدرة غير الفعالة ، ينخفض التيار المار بالخط وبالتالى يحدث وفر فى سعة الخط تبعا للمعادلة :

$$S = P_{max}\left(\frac{1}{\cos\varphi} - \frac{1}{\cos\varphi_c}\right) \qquad (5)$$

حيث

P_{max} = أقصى قدرة فعالة

$\cos\varphi$ =معامل القدرة قبل التعويض

$\cos\varphi_c$ =معامل القدرة بعد التعويض

ثالثا : تخفيض فقد القدرة غير الفعالة بمحولات التوزيع :

عند تركيب مكثفات توازى على الجهد المنخفض لمحول التوزيع ، فإن فقد القدرة غير الفعالة فى المحول ، والذى له ممانعة عالية ، تنخفض بالكمية الآتية :

$$Q_1 = \frac{U_X}{S_N}\left(2Q_{max}Q_C - Q_C^2\right) \qquad (6)$$

حيث :

S_N = القدرة المقننة للمحول

U_X = (reactance of transformer) ممانعة المحول

Q_1 =الانخفاض فى القدرة غير الفعالة للمحول

Q_{max} =أقصى قيمة للقدرة غير الفعالة لحمل المحول

Q_C =القدرة المقننة للمكثف المركب على الجهد المنخفض للمحول

وتنخفض القدرة غير الفعالة المنقولة خلال المحول بقيمة العامل K لكل سعة تعويض وتبعا للمعادلة :

$$K = \frac{Q_C + Q_1}{Q_C} = 1 + U * \frac{Q_{max}}{S_N}(2 - q_m) \qquad (7)$$

حيث

q_m = عامل التعويض(Compensation factor)

$$= \left(\frac{Q_C}{Q_{max}}\right)$$

أ – تخفيض مفقودات القدرة الفعالة بخطوط الجهد المتوسط نتيجة تركيب مكثفات على محول التوزيع

عند تركيب مكثفات على الجهد المنخفض لمحول التوزيع ينخفض فقد القدرة الفعالة فى خطوط الجهد المتوسط نتيجة انخفاض القدرة غير الفعالة المنقولة .

بفرض ان سعة التعويض Q_C تتوزع بانتظام على محولات التوزيع فإن الانخفاض فى القدرة غير الفعالة المنقولة بالخط تكون

$$Q_{c\,max} = KQ_C \qquad (8)$$

حيث :

الانخفاض فى القدرة غير الفعالة المنقولة بالخط خلال اقصى حمل = $Q_{c\,max}$

عامل التعويض (المعرف فى المعادلة رقم 7) = K

مقنن مكثف تحسين معامل القدرة = Q_C

وتوضح المعادلة التالية الانخفاض فى فقد القدرة الفعالة :

$$P = \frac{R}{3V^2}\left(2Q_{max}\,Q_{C\,max} - Q^2_{C\,max}\right) \qquad (9)$$

حيث :

مقاومة الخط = R

جهد تشغيل الخط = V

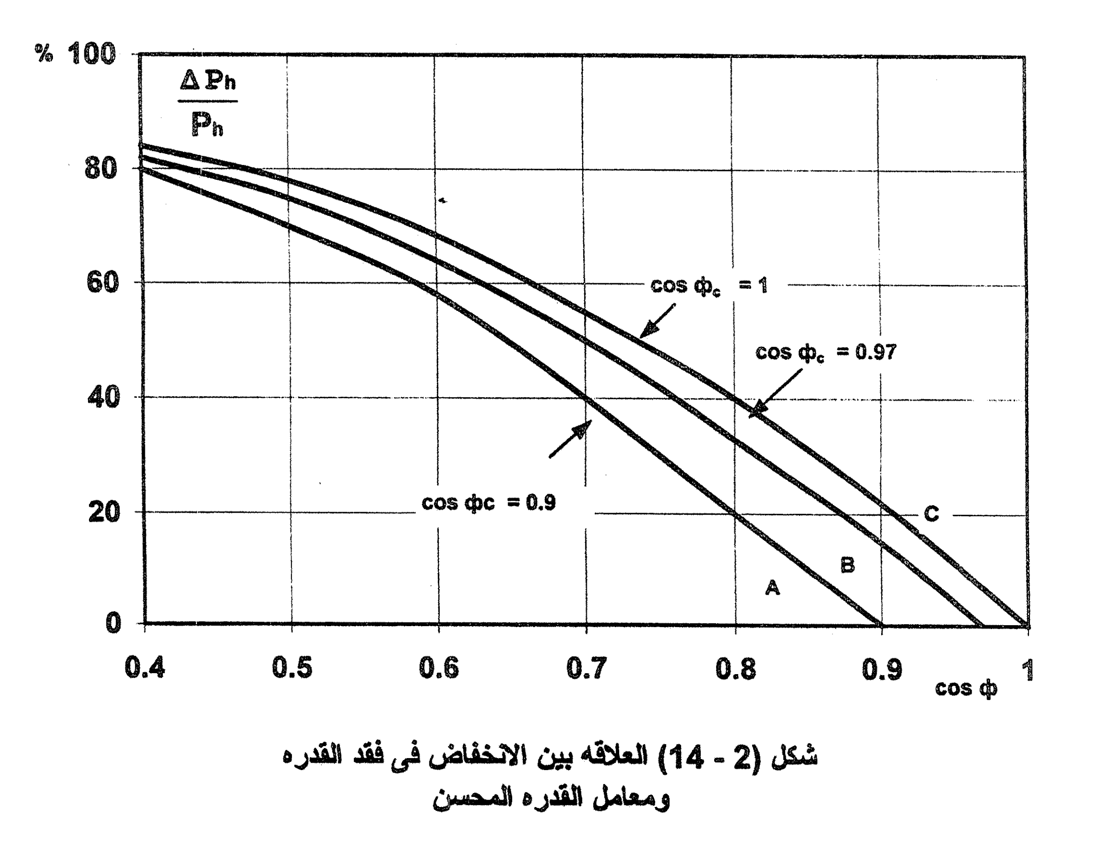
تشير المعادلة (9) الى ان انخفاض فقد القدرة يكون اكبر ما يمكن عندما $Q_{C\,max}$ تساوى اقصى حمل غير فعال للخط .

يوضح شكل (2-14) العلاقة بين الانخفاض P كنسبة من المفقودات الكلية و معامل القدرة المحسن

ب – تخفيض مفقودات الطاقة الفعالة بخطوط الجهد المتوسط نتيجة تركيب مكثفات على محول التوزيع

يعتمد تخفيض مفقودات الطاقة الفعالة على ما اذا كانت المكثفات من النوع الثابت أو النوع القابل للتحكم أو خليط من النوعين .





شكل (2 - 14) العلاقه بين الانخفاض فى فقد القدره
ومعامل القدره المحسن

توضح المعادلة التالية الخفض فى فقد الطاقة الفعالة

$$E = \frac{RQ_{max}^2}{3V^2} T\left(2.LF.q - q^2\right) \qquad (10)$$

حيث :

$$q = \frac{Q_{Cmax}}{Q_{max}}$$

ج- تخفيض مفقودات القدرة بمحولات التوزيع

نحصل على هذا التخفيض تبعا للمعادلة التالية

$$P = U_r \left(\frac{2Q_{max} \quad Q_C - Q_C^2}{S_N}\right) \qquad (11)$$

حيث :

U_r = (%) مقاومة المحول

S_N =مقنن قدرة المحول

د - تخفيض مفقودات الطاقة بمحولات التوزيع

نحصل على هذا التخفيض تبعا للمعادلة التالية

$$E = U_r \frac{Q_{max}^2}{S_N} T\left(2\,LF.q_m - q_m^2\right) \qquad (12)$$

هــ- الوفر فى سعة النقل

ان تركيب مكثفات على الجانب الثانوي لمحولات التوزيع توفر فى السعة المنقولة خلال خطوط الجهد المتوسط ومحولات التوزيع، وتحسب السعة المتوفرة تبعا للمعادلة

$$P_1 = P_{max}\left(\frac{1}{\cos\varphi} - \frac{1}{\cos\varphi_C}\right)$$

رابعا : معامل القدرة وتخفيض المفقودات

مع العرض الرياضي السابق يمكن التحليل بطريقة أخرى كالآتي :

عند استخدام مكثفات التوازي لتحسين معامل القدرة ، ينخفض التيار الكلى المار بالشبكة وبالتالي تنخفض مفقودات الشبكة والتي تتناسب مع مربع التيار . ويكون مربع التيار الكلى مساويا لمجموع مربع التيار الفعال و مربع التيار غير الفعال . أي إن المفقودات الكلية للشبكة مكونة من جزئيين ، أحدهما المفقودات الناتجة من مركبة القدرة الفعالة (KW) للحمل ، والأخرى المفقودات الناتجة من مركبة القدرة غير الفعالة (KVAR) للحمل . تعمل مكثفات التوازي على خفض المفقودات الحادثة بسبب المركبة غير الفعالة للحمل ، حيث أنها تخفض القدرةغير الفعالة المارة في مقاومة الشبكة. و ايضا فإن المكثفات تخفض مفقودات القدرة الفعالة و مفقودات الطاقة الفعالة وفيما يلي توضيح ذلك :

مفقودات أقصى KW نتيجة القدرة غير الفعالة

يتناسب فقد أقصى (KW) نتيجة KVAR مع مربع KVAR اى ان :

$$\text{Peak KW losses due to } \overline{\text{KVAR}} \ \alpha \ \overline{\text{KVAR}^2} \ \alpha \ \overline{\text{KVA}}^2 \text{Sin}^2\theta \qquad (13)$$

بينما يتناسب الفقد الكلى لأقصى KW مع مربع KW ومربع KVAR أى أن :

$$\text{Total peak KW losses} \ \alpha \ \overline{\text{KW}}^2 + \overline{\text{KVAR}^2}$$

$$\alpha \ \overline{\text{KVA}}^2 \left(\cos^2\theta + \sin^2\theta\right) \qquad (14)$$

تمثل النسبة بين المعادلتين (13)،(14) نسبة فقد القدرة نتيجة القدرة غير الفعالة منسوبة إلي فقد القدرة الكلى ، أي أن:

$$\frac{\text{Peak KW losses due to } \overline{\text{KVAR}}}{\text{Total peak KW losses}} = \frac{\overline{\text{KVA}}^2 \sin^2\theta}{\overline{\text{KVA}}^2 \left(\cos^2\theta + \sin^2\theta\right)} = \sin^2\theta \qquad (15)$$

فمثلا اذا كان معامل قدرة حمل = 80% فإن:

$\sin\theta = 0.6$

المفقودات نتيجة KVAR = $(\sin^2\theta)$ * (المفقودات الكلية)

= 0.36 * (المفقودات الكلية)

= 36% (المفقودات الكلية)

اى ان فقد القدرة الناتج عن سحب قدرة غير فعالة يساوى $\sin^2\theta$ من فقد القدرة الكلى .

يوضح شكل (14-3) العلاقة بين معامل القدرة ونسبة مفقودات القدرة نتيجة قدرة غير فعالة KVAR اى ان المنحنى يمثل معادلة $\sin^2\theta$

مفقودات الطاقة (KWH) نتيجة القدرة غير الفعالة

لإيجاد مفقودات الطاقة ، فمن الضروري معرفة خصائص عمل الشبكة لكل من القدرة الفعالة (KW) والقدرة غير الفعالة (KVAR) .

أي معرفة عامل الحمل (Load factor) لكل من KVAR، KW (عامل الحمل هو النسبة بين متوسط الحمل الى أقصى حمل خلال فترة زمنية محددة) . وفى هذه الحالة يفرض إن الفترة الزمنية 8760 hr بمعرفة عامل الحمل يمكن حساب عامل الفقد (Loss factor) ، والذي يعرف بأنه النسبة بين متوسط الفقد إلى أقصى فقد خلال فترة زمنية محددة .

عادة يفرض عامل الفقد = $(\text{عامل الحمل})^{1.6}$ وغالبا ما يقع عامل الفقد بين القيمة $(\text{عامل الحمل})^{1.0}$ و $(\text{عامل الحمل})^{2.0}$

من المعادلات (13) ، (14) ، (15) نحصل على المعادلة

$$\frac{\overline{KVAR}^2}{\overline{KW}^2 + \overline{KVAR}^2} = \frac{(\sin\theta)^2}{(\cos\theta)^2 + (\sin\theta)^2} \qquad (16)$$

بفرض ان :

E_W = Loss factor for KW

عامل فقد القدرة الفعالة =

E_K = Loss factor for KVAR

عامل فقد القدرة غير الفعالة =

باستخدام المعادلة (16) ،وعاملي الفقد E_W ، E_K نحصل على فقد الطاقة السنوى من المعادلة التالية :

$$\frac{\text{KWH loss due to KVAR}}{\text{Total KWH loss}} = \frac{(\sin\theta)^2\ (8760)(E_K)}{(\cos\theta)^2\ (8760)\ (E_W) + (\sin\theta)^2\ (8760)\ (E_K)} \qquad (17)$$

بقسمة كل من البسط والمقام على $(\cos\theta)^2$ 8760 نحصل على المعادلة:

$$\frac{\text{KWH loss due to KVAR}}{\text{Total KWH loss}} = \frac{\tan^2\theta\ E_K}{E_W + \tan^2\theta\ E_K}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{E_W}{E_K}\right)\left(\frac{1}{\tan^2\theta}\right) + 1} \qquad (18)$$

عادة تكون النسبة $\frac{E_W}{E_K}$ للشبكات بين 0.6 ، 0.9

وعادة ايضا تكون عاملات الفقد وعاملات الحمل للقدرة غير الفعالة اكبر من مثيلاتها للقدرة الفعالة

يوضح شكل (4-14) تمثيل للعلاقة بالمعادلة (18) عند قيم للنسبة $\frac{E_W}{E_K}$ تساوى 1 ، 0.9 ، 0.6 اى يوضح العلاقة بين معامل القدرة ومفقودات الطاقة الناتجة من استهلاك KVAR عند قيم $\frac{E_W}{E_K}$ مختلفة .

من المفيد مقارنة الشكلين (14-3) ، (14-4) ، فمثلا في شكل (14-3) عند 90% معامل قدرة تكون مفقودات القدرة عند أقصى حمل تساوى 19% والناتجة من تيار متأخر (Lagging current) بينما من شكل (14-4) عند نفس التيار المتأخر بمعامل قدرة 90% فإن مفقودات الطاقة للنظام تكون بين 19%، 28% . يرجع هذا الاختلاف إلى إن عامل الفقد للقدرة غير الفعالة يكون أكبر من عامل الفقد للقدرة غير الفعالة . وفى الحقيقة فإن المنحنى في شكل (14-3) هو نفسه في شكل (14-4) عند $E_W/E_K = 1$. بفرض أن معامل القدرة قد تم تحسينه من 80% إلى الوحدة وذلك عند أقصي حمل.

من شكل (14-3) نحصل على أقصي مفقودات قدرة 36% من فقد القدرة الكلى (وذلك عند نسبة $\frac{E_W}{E_K}=0.6$) .

و من الشكل (14-4) نحصل على انخفاض في مفقودات الطاقة حوالي 48% من فقد الطاقة الكلى ولحساب قيمة الوفر نتيجة هذا الانخفاض في الفقد يتبع الآتى :

بفرض ان مصدر التغذية يورد 5 مليون ك.و.س عند أقصى حمل 2000 KW وان تكلفة القدرة 800/KW $ وتكلفة الطاقة 0.015/ KWH $

مفقودات النحاس (Copper losses) = 8% من الطاقة الكلية

$= 0.08 \times 5000000 = 400000$ ك.و.س

مفقودات القدرة الكلية $= 0.08 \times 2000$

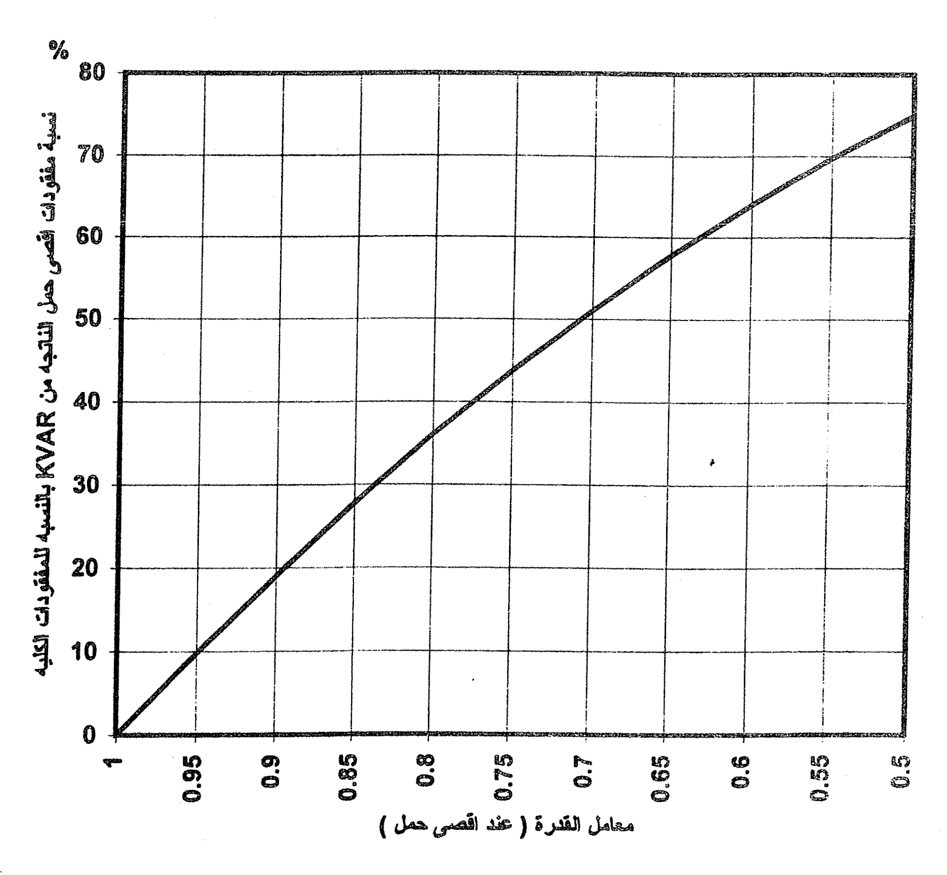
$=160$ ك.و

نتيجة تحسين معامل القدرة من 0.8 إلي الوحدة يحدث انخفاض في مفقودات الطاقة بنسبة 48% من فقد الطاقة الكلى ، أي إن:

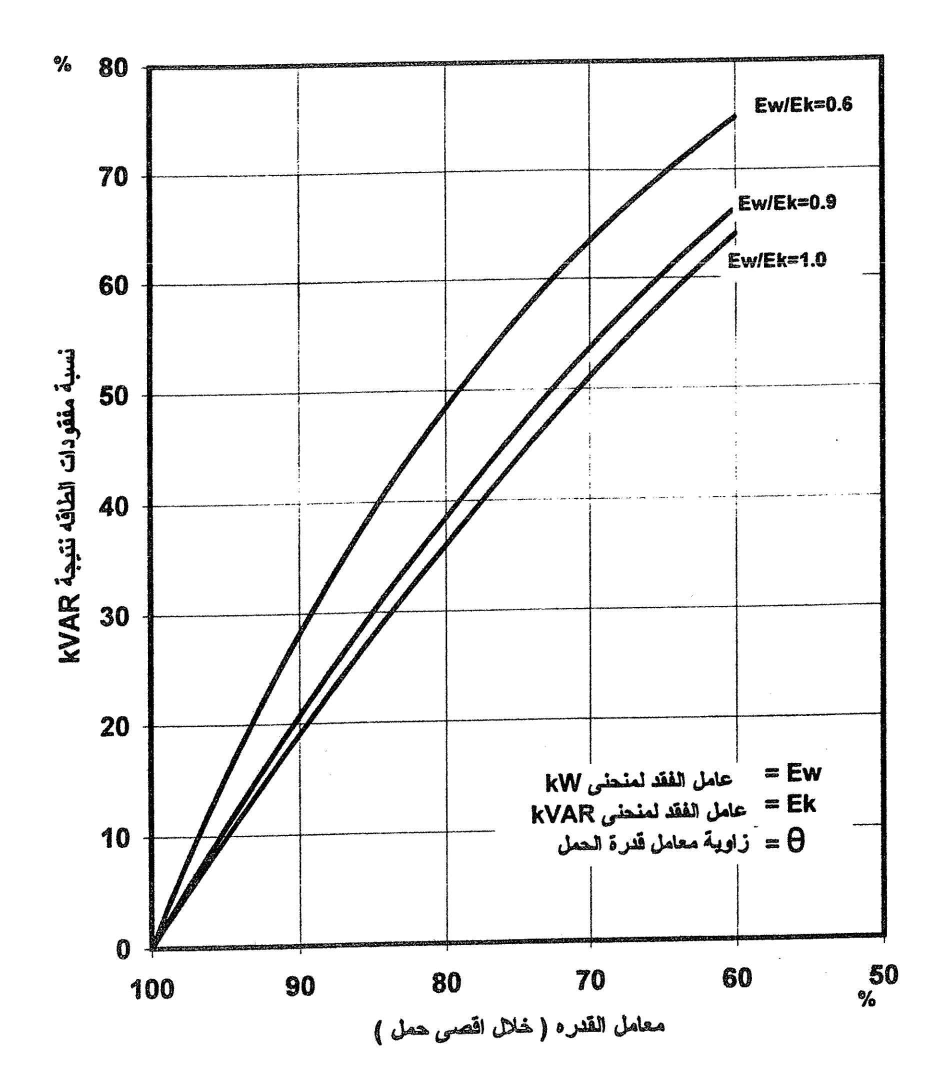
انخفاض مفقودات الطاقة = 0.48 × مفقودات النحاس

$= 0.48 \times 400000 = 192000$ ك.و.س

بينما يحدث انخفاض في مفقودات القدرة بنسبة 36% من فقد القدرة الكلى أي أن :



شكل (3 - 14) منحنى مفقودات اقصى حمل الناتجه من KVAR



شكل (4 - 14) مفقودات الطاقه نتيجة سحب kVAR

انخفاض مفقودات القدرة = 0.36 ×مفقودات القدرة

= 0.36 × 160 = 57.6 ك.وات

باستخدام تكلفة الطاقة وتكلفة القدرة يمكن حساب الوفر الناتج من انخفاض مفقودات كل من الطاقة والقدرة

تحسين معامل القدرة

تناسب مفقودات القدرة مع مربع التيار الكلى ، وينخفض التيار الكلى مباشرة مع معامل القدرة المحسن ، أي أن المفقودات تتناسب عكسيا مع مربع معامل القدرة المحسن أي أن

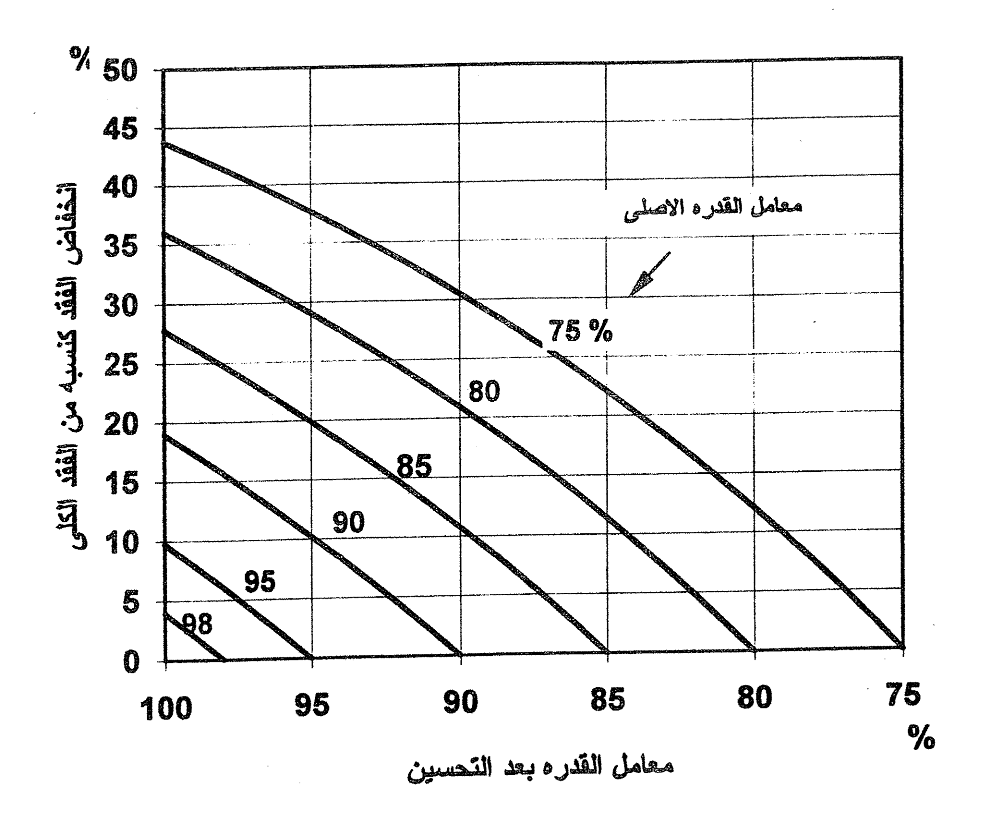
$$\text{KW losses (بعد التحسين)} \quad \alpha \quad \frac{1}{\text{improved PF}^2}$$

$$\text{KW losses (قبل التحسين)} \quad \alpha \quad \frac{1}{\text{orginal PF}^2}$$

$$\text{(منسوبة إلى القيمة الكلية قبل التحسين) KW losses} \quad \alpha \quad \frac{\text{original PF}^2}{\text{improved PF}^2}$$

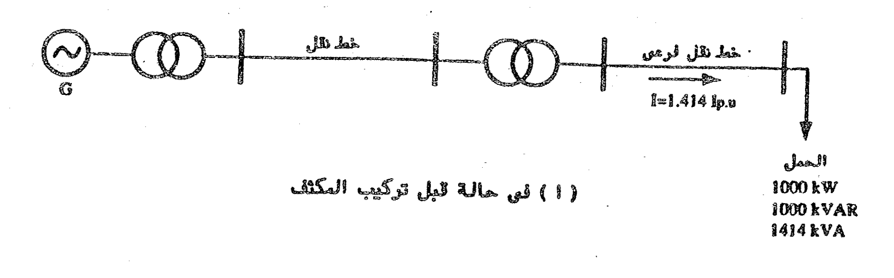
$$\text{انخفاض الفقد} = 1 - \frac{\text{orginal PF}^2}{\text{improved PF}^2} \qquad (19)$$

ويوضح شكل (5-14) العلاقة بين الانخفاض فى فقد القدرة (KW) كنسبة من مفقودات القدرة الكلية عند قيم مختلفة لمعامل القدرة المحسن ولقد رسمت المنحنيات تبعا للمعادلة رقم (19) .

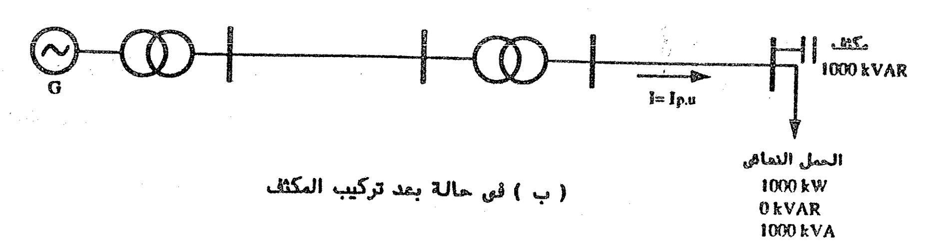


شكل (5 - 14) نسبة انخفاض الفقد عند تحسين معامل القدره

مثال(1)



(أ) فى حالة قبل تركيب المكثف



(ب) فى حالة بعد تركيب المكثف

عادة الأحمال المحتوية على محركات والأجهزة الحديثة الإلكترونية تسحب قدرة غير فعالة عالية فمثلا المتغيرات الكهربائية لمنشأة كالآتي

Kilowatt demand = 1000 KW

Kilovar demand = 1000 KVAR

$$\text{Kilovolt Amperes} = \sqrt{(1000)^2 + (1000)^2} = 1414 \text{ KVA}$$

$$PF = \frac{1000 \text{ KW}}{1414 \text{ KVA}} = 0.707$$

وتتناسب وحدة التيار مع KVA أى مع 1.414

فى حالة عدم وجود مكثفات فإن القدرة الظاهرية الكلية 1414 KVA تنقل خلال الشبكة من المولد وحتى الحمل . عندئذ فإن الهبوط فى الجهد (Voltage drop) والمفقودات (losses) تقترن بالقدرة المنقولة 1414 KVA للحمل والتي تتناسب مع التيار ومع مربع التيار على التوالي أي أن:

- يتناسب هبوط الجهد مع قيمة وحدة التيار أى 1.414
- تتناسب المفقودات مع مربع قيمة وحدة التيار إي $(1.414)^2$ أو 2.0

عند تركيب مكثفات بقدرة 1000 KVAR على التوازي مع الحمل ، عندئذ تكون المتغيرات الكهربائية كالآتي:

Kilowatt demand = 1000 KW
Kilovar demand = 0 KVAR
Kilovolt amperes = 1000 KVA

$$PF = \frac{1000\ KW}{1000\ KVA} = 1.00$$

فى هذه الحالة تتناسب وحدة التيار مع KVA اى مع 1.00 ويكون هبوط الجهد والفقد كالاتى :

$$\text{هبوط جهد الحمل المصحح} = \frac{1.00}{1.414} X\ 100 = 70.7\%$$

$$\text{مفقودات الحمل المصحح} = \frac{(1.00)^2}{(1.414)^2} X\,100 = 50.0\%$$

أي أن تركيب المكثفات أدي إلى تخفيض هبوط الجهد بنسبة 30% وتخفيض المفقودات بنسبة 50%

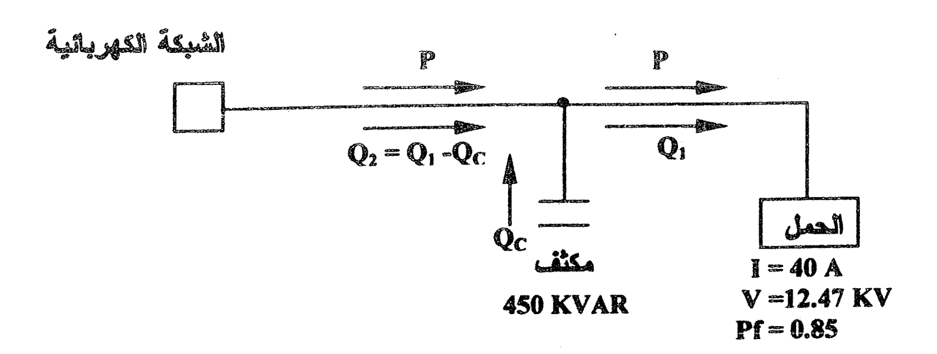
يمكن بإتباع الطريقة السابقة حساب انخفاض هبوط الجهد وانخفاض الفقد نتيجة تحسين معامل القدرة إلى الوحدة ، أو يمكن الاسترشاد بجدول رقم (1-14).

جدول (1-14) مستوى تصحيح هبوط الجهد والفقد عند تحسين معامل القدرة للوحدة وتبعا لمعامل القدرة قبل التحسين

مستوى التصحيح		وحدة KVA Per unit KVA		معامل القدرة قبل التحسين (Previous PF)%
المفقودات %	هبوط الجهد %	الجديد	السابق	
25	50	0.50	1.0	50
30	55	0.55	1.0	55
36	60	0.60	1.0	60
42	65	0.65	1.0	65
49	70	0.70	1.0	70
56	75	0.75	1.0	75
64	80	0.80	1.0	80
72	85	0.85	1.0	85
81	90	0.90	1.0	90
90	95	0.95	1.0	95

Source : Ref [2]

مثال (2)



$$\text{Load KVA} = 40\ \text{Amp} * 12.47\ \text{KV} * \sqrt{3} = 864\quad \text{KVA}$$

$$P = PF * KVA$$

$$= 0.85 * 864 \qquad = 734.4\ \text{KW}$$

$$Q_1 = \sqrt{KVA^2 - KW^2} \qquad = 455\quad \text{KVA}$$

بعد تركيب المكثف تصبح Q_1 تساوى 5 KVAR وتصبح المتغيرات كالآتى:

$$\text{Load KVA} = \sqrt{KW^2 + KVAR^2} = 734.4\ \text{KVA}$$

$$I = \frac{734.4\ \text{KVA}}{12.47\ \text{KV}\sqrt{3}} = 34\quad \text{Amp}$$

أي ينخفض التيار من 40 Amp الى 34 Amp بنسبة تخفيض حوالى 18%

مما سبق يمكن تلخيص تأثير المكثفات فى الآتى :

- تأثيرات رئيسية
  - انخفاض القدرة غير الفعالة (VAR)
  - انخفاض تيار الخط وبالتالى انخفاض المفقودات
- تأثيرات ثانوية
  - تحسين الجهد

ويمكن تركيب المكثفات فى مواضع مختلفة فى الشبكة الكهربائية مثل :

- بمحطات المحولات
- عند مغذيات التوزيع
- عند جهد الاستخدام

ونحصل على أقصى انخفاض في الفقد إذا ركبت المكثفات أقرب ما تكون ، ان أمكن ، لنقطة الحمل غير الفعال (أو ذى معامل القدرة المنخفض)

يجب مراعاة الآتي:

- معرفة بر وفيل الحمل غير الفعال بتسجيله مع الزمن
- يجب ان يوجد اتزان بين الحمل غير الفعال وبين مقنن المكثفات
- يجب ان تختار المكثفات الثابتة لتوائم أقل حمل غير فعال
- يجب ان تكون المكثفات المرحلية موائمة لبروفيل الحمل غير الفعال
- تعمل المكثفات المرحلية من خلال اى من المتغيرات الاتيه :
  التيار – الجهد – الزمن – درجة الحرارة – نظام التحكم

الباب الخامس عشر

تقيـــم المفقــــودات

Evaluation Of Losses

تؤدى مفقودات الطاقة الفعالة الى التكاليف الآتية :-

1- تكاليف سعة أو قدرة (Capacity) التوليد والنقل والتوزيع

2- تكاليف الإنتاج ، اى تكلفة التوليد والتى تعنى فى المقام الأول تكلفة الوقود

كذلك يمكن تصنيف التكاليف الى جزئين كالآتى :

1- تكلفة القدرة لكل KW فى السنة

2- تكلفة الطاقة لكل KWH

عند التصميم والتخطيط لشبكات النقل والتوزيع ، فيجب وضع معايير اقتصادية أساسية لتخفيض تكاليف دورة الحياة (life cycle cost) للإنشاءات الجديدة مثل المحطـــات وخطوط النقل ....

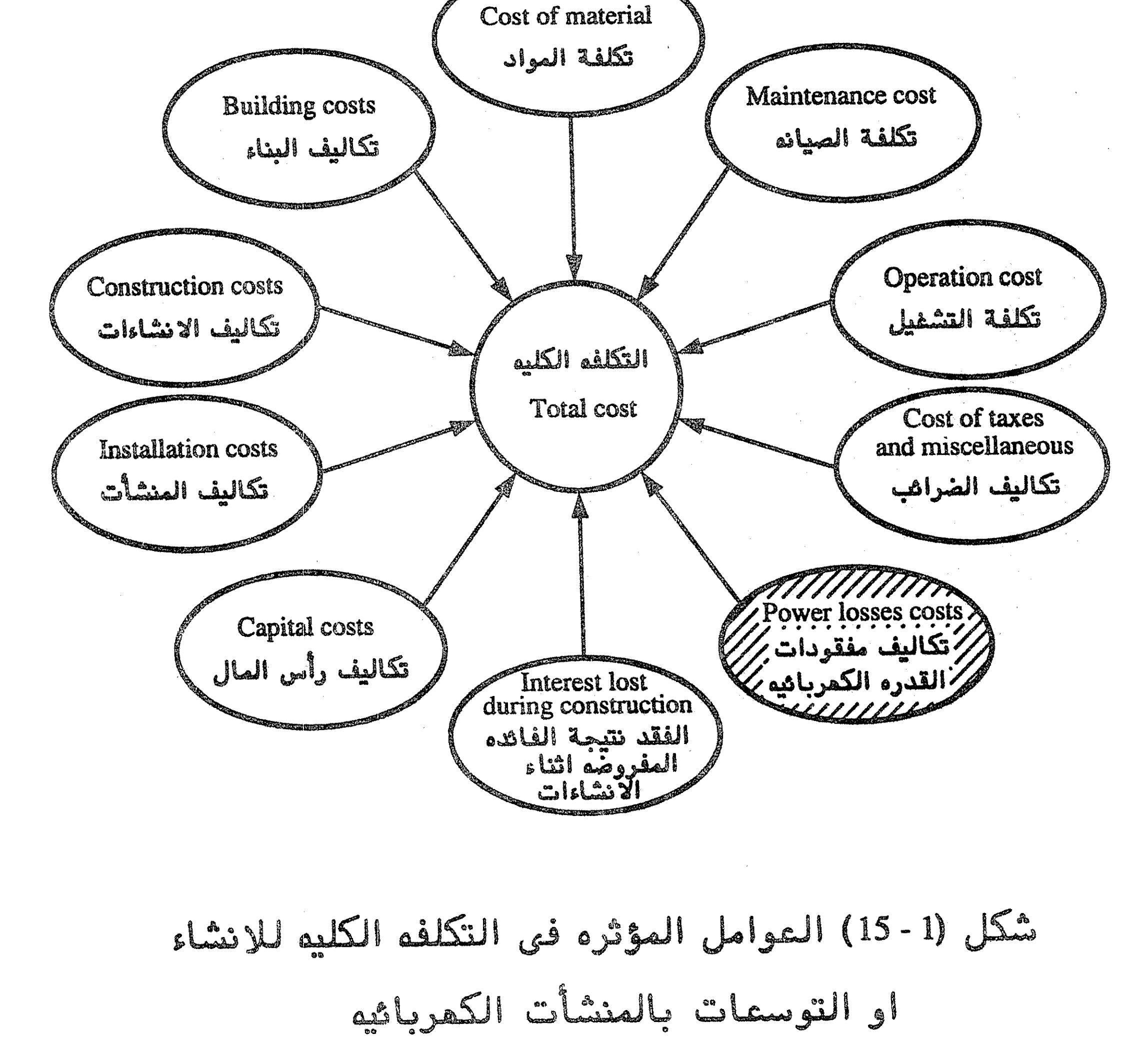
تتكون تكاليف دورة الحياة من تكاليف الاستثمارات وتكاليف المفقودات وتكاليف الصيانة والتشغيل خلال دورة التخطيط .

تعتمد تكاليف المفقودات على عناصر مختلفة منها :-

- تكاليف مصدر التغذية الإجمالي (Cost of bulk supply)
- زمن الإستعمال للفقد (Utilization time for losses)
- تكاليف النقل من مصدر التوليد وحتى موضع حساب الفقد
- تزامن المفقودات (Simultaneity of losses)

وتختلف تكلفة المفقودات تبعا لمستويات الجهود المختلفة بالشبكات الكهربائية .

ويوضح شكل (1-15) العوامل المختلفة المؤثرة فى التكلفة الكلية المطلوبة للإنشاءات أو التوســعات بالمنشـــآت الكهربائـــية ٠٠ وان أحـــد العوامل هو تكاليف المفقودات الكهربائية ٠



شكل (1 - 15) العوامل المؤثره فى التكلفه الكليه للانشاء
او التوسعات بالمنشأت الكهربائيه

أ-الصورة العامة لتقييم تكاليف الفقد

تقيم المفقودات تبعا للعلاقة التالية

$$K = f_s^2 \left(C_b + C_t\right) + C_W \cdot \tau$$

حيث :

K = cost of losses

= تكلفة المفقودات

f_s = The simultaneity factor of the power demand

= عامل تزامن قدرة الطلب

C_b = The cost of bulk power supply (marginal cost for bulk power capacity)

= تكلفة مصدر القدرة الإجمالي (حد التكلفة لسعة القدرة الإجمالية)

C_t = The transmission cost of losses (marginal cost for additional capacity in the transmission network)

= تكاليف مفقودات شبكة النقل

(حد التكلفة للقدرة الإضافية فى شبكة النقل)

C_w = cost of bulk energy

= تكلفة مصدر الطاقة الإجمالي

τ_f = utilization time for losses (hr/year)

= زمن الاستعمال للمفقودات (ساعة / سنة)

كل من C_w & C_b تكون عند نقطة البيع لمصدر القدرة الإجمالي **(bulk power)** والتي يفضل أن تكون عند مستوى الجهد **220 KV** (أو عند مستوى الجهد الفائق) للوصول الى العلاقة بين مفقودات القدرة الفعالة التزامنية وقدرة الحمل التزامنى يتبع الآتى :

P_f = active power losses

$= 3 R I^2$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ V \cos\phi}$$

$$\therefore P_f = 3R\left(\frac{P}{\sqrt{3}\ V\cos\varphi}\right)^2 = \frac{R}{V^2 \cos^2\phi} . P^2$$

وبفرض ان معامل القدرة ($\cos\varphi$) ثابت فإن

$P_f = K . P^2$

$P_f \ \alpha \ P^2$

حيث K ثابت

وكما ذكر سابقا فإن $C_w \& C_b$ تعطى عند نقط البيع لشبكة التوليد ، وعليه بالنسبة لهذه النقط فإن تقييم المفقودات عند مستوى الجهد المنخفض يتم بإضافة قدرة الحمل التزامي بين مستويين.

تعرف الإضافة التزامنية لطلب القدرة $P_1\&P_2$ عند مستويين جهد $V_1\&V_2$ عن طريق عامل التزامن

$$f_s = \frac{P_1}{P_2} \le 1 \qquad\qquad P_1 = f_s . P_2$$

$\therefore P_f \ \alpha \ P_1^2$

$\therefore P_f \ \alpha \ f_s^2 \ . P_2^2$

المتغيرات $C_t \ \& \ C_w \ \& \ C_b$

بفرض شبكة كهربائية تحتوى على نوعين من محطات التوليد الحرارية وبيان كل محطة كالآتى والتى تستخدم لحساب C_b

أ – المتغير C_b

محطة توليد حرارية I (Thermal power plant)

تحسب التكلفة الثابتة السنوية لكل 1 KW فى السنة من المعادلة :

$$KI_1 = \frac{K_{F1}}{P_{N1}} . FC_1$$

حيث :

KI_1 = annual fixed sum for 1 KW per year

= التكلفة الثابتة الكلية السنوية لكل 1 KW فى السنة =

K_{F1} = construction cost

= تكلفة الإنشاءات

P_{N1} = Production capacity in MW

= سعة الإنتاج بوحدة MW

FC_1 = Fixed - charge rate (annual installment factor) based on R and LT_1

= معدل الصرف الثابت (القسط السنوى) على أساس LT_1 & R

R % = real interest rate

= معدل الفائدة الحقيقي =

LT_1 = Expected life time in years

= عمر التشغيل المتوقع بالسنوات

محطة توليد حرارية II

$$KI_{II} = \frac{K_{FII}}{P_{NII}} . FC_{II}$$

وبنفس تعريف الرموز بمحطة التوليد الحرارية I

وتحسب تكلفة مصدر التغذية الإجمالى ، بالنسبة للقيمة الحالية الكلية ، كقيمة متوسطة موزونة (Weighted mean value) بين المحطتين I & II

وعلى ذلك فإن تكلفة مصدر التغذية الإجمالى لكل KW محسوبة على أساس القيمة الحالية الكلية تكون

$$KI_b = \frac{KI_1 . PR_1 + KI_{II} . PR_{II}}{2}$$

حيث:

PR_I = total present value rate for plant I
(based on total lifetime LT_I years at real interest rate R%)
= معدل القيمة الحالية الكلية للمحطة (1)
(على أساس زمن التشغيل الكلى LT_I بالسنة ومعدل الربح الفعلى R%)
PR_{II} = total present value rate for plant II
= عدل القيمة الحالية الكلية للمحطة (2)

إذا كانت دورة التخطيط تساوى PT سنة وكان معدل الفائدة الفعلى يساوى R نحصل على معدل صرف ثابت FC

وعليه فإن تكلفة مصدر التغذية الإجمالى لكل KW فى السنة منسوبا الى التكلفة السنوية لدورة PT يصبح

$C_b = KI_b . FC$

ب – المتغير C_W

يجب ان تؤخذ تكلفة C_W لكل KWH كمتوسط للتعريفة

ج– المتغير C_t

يجب إضافة تكاليف مفقودات خطوط النقل لمستويات الجهود الأقل من 220 KV
(أو الاقل من الجهود الفائقه)

غالبا تحسب C_t كنسبة P من C_b أى من تكلفة سعة إنتاج القدرة .

ويوضح جدول (1-15) أمثلة لقيم P%

جدول (1-15)

Transmission cost shares P %	مستوى جهد الشبكة (KV)
50	66
60	33
70	11
80	0.4

ب – الصورة المبسطة لتقييم تكاليف الفقد

يوضح شكل (15-2) تمثيل لجزء من الشبكة عبارة عن مصدر التغذية (Up stream system) وجزء من شبكة النقل والتوزيع .. تحسب تكاليف المفقودات الكهربائية طبقا للمعادلة التالية :

$$C_{loss} = \underbrace{C_p \cdot \Delta P_{max}}_{\text{تكاليف مفقودات القدرة}} + \underbrace{\int C_W(t) \cdot \Delta P(t)\, dt}_{\text{تكاليف مفقودات الطاقه}} \qquad (1)$$

C_{loss} = cost of losses ($ / year)

= تكاليف المفقودات ($/ السنة) =

$C_w(t)$ = energy cost ($ / KWH)

= تكلفة الطاقة($ / KWH) =

C_p = Capacity cost ($ / KW year)

= تكاليف القدرة السنويه ($ / KW) =

ΔP_{max} = Peak power losses (KW)

= أقصى مفقودات قدرة (بوحدة KW) =

$\Delta P(t)$ = power losses (KW)

= مفقودات القدرة (بوحدة KW) =

من المعادلة رقم (1) نحصل على المعادلة العامة لحساب تكاليف المفقودات الآتية :

$$C_{loss} = \left(C_P + C_W \cdot \tau_f\right) \cdot \Delta P_{max} \qquad (2)$$

$$C_{loss} = C_{eq} \cdot \Delta P_{max} \qquad (3)$$

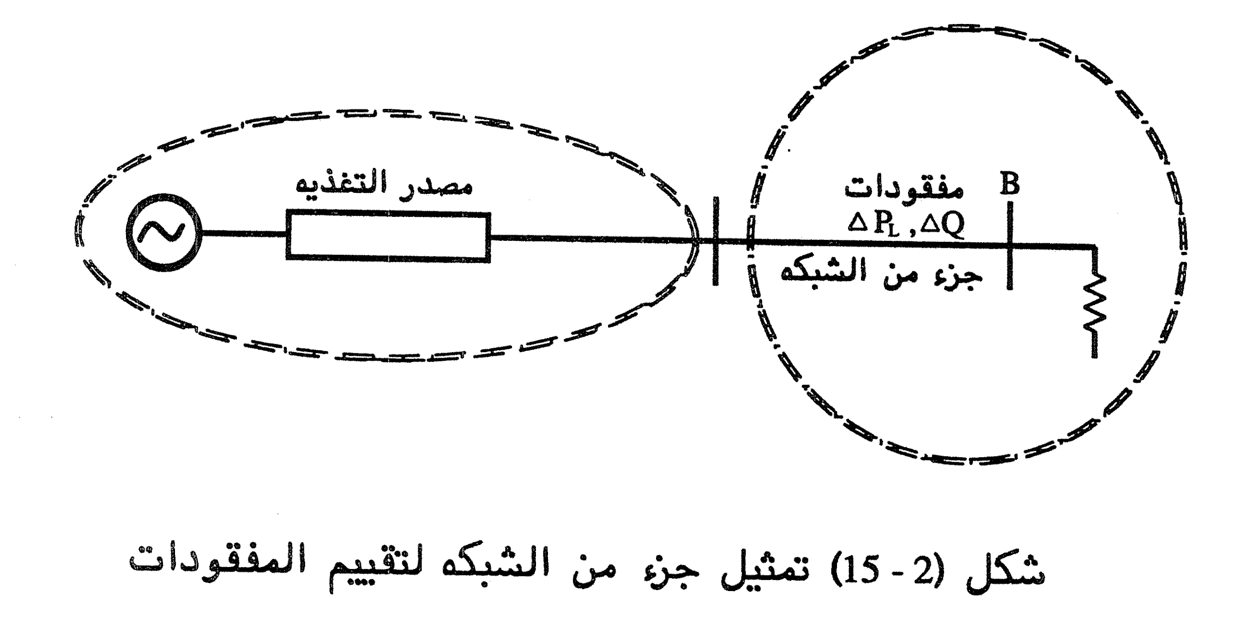
حيث

τ_f = Utilization time for losses (hr/year)

= زمن الاستعمال للمفقودات (ساعة / السنة) =

Ceq = Equivalent cost of losses ($ / KW year)

=($ / KW) التكلفة المكافئة للمفقودات سنويا



شكل (2-15) تمثيل جزء من الشبكه لتقييم المفقودات

ج – تقييم مفقودات المحولات (Evaluation of transformer losses)

تتكون تكلفــة المحول من التكلفة الأولية (initial cost) وتكلفـــة المفقـــودات (cost of losses) ٠

وتقييم تكلفة المفقودات باستخدام طريقة التكلفة الأولية المكافئة (Equivalent first cost method)[1] أو بالطريقة التقريبية ٠

1 - طريقة التكلفة الأولية المكافئة(Equivalent first cost method)

أ– تكلفة مفقودات اللاحمل (Cost of No load losses)

$$EFC_{nL} = \frac{(12 * A) + (8760 * C)}{CCR} * W_i$$

حيث

EFC_{nL} = Equivalent first cost of no - load losses

= التكلفة الأولية المكافئة لفقد اللاحمل

A = Demand charge in $/ KW month

= تكلفة القدرة (بوحدة دولار / ك.و شهريا) =

C = Energy charge in $ / KW H

= تكلفة الطاقة (بوحدة دولار / ك.و.س) =

$$CCR = \text{carrying charge rate} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

= معدل القيمة الجارية =

W_i = KW of No load losses

= قدرة مفقودات اللاحمل (بوحدة KW =

i = interest rate (%) = معدل الفائدة =

n = time periods (year) =(سنة) الدورات الزمنية

---

(1) Source : Black & Veatch, Engineers Architects - kanses City

ب-تكلفة المفقودات المساعدة (Cost of auxiliary losses)

$$EFC_{al} = \frac{(12 * A) + (H * C)}{CCR} * W_{al}$$

حيث

EFC_{aL} = Equivalent First Cost of auxiliary losses

= التكلفة الأولية المكافئة للمفقودات المساعدة

A = Demand charge in $ / KW month

= تكلفة القدرة (بوحدة دولار / ك.و. شهريا)

H = Hours of operation

= عدد ساعات التشغيل

C = Energy charge in $ / KWH

= تكلفة الطاقة (بوحدة دولار / ك.و.س)

CCR = Carrying charge rate (or Fixed charge rate)

= معدل القيمة الجارية [1] أو معـــدل القيمـــة الثابتة

(أو معدل رسم تحصيل مرحل من شهر الى آخر)

W_{aL} = KW of auxiliary losses

= قدرة المفقودات المساعدة (بوحدة KW)

---

(1) معدل القيمة الجارية : تستخدم لتحويل التكلفة السنوية لفقد المحول الى تكاليف رأس المال

ج- تكلفة مفقودات الحمل (Cost of load losses)

تنقسم هذه التكلفة الى تكلفة القدرة وتكلفة الطاقة لمفقودات الحمل وتحسب كالآتى :

$$ADC_{LL} = (P * LRF)^2 * (12 * A) * W_{cu}$$

$$AEC_{LL} = (P)^2 * 8760 * LsF * C * W_{cu}$$

$$TEFC_{LL} = \frac{ADC + AEC}{CCR}$$

حيث

ADC = Annual Demand Cost

= تكلفة القدرة السنوية لفقد الحمل

P = Peak loading factor

= عامل أقصى حمل

LRF = Peak load responsibility factor

= عامل مسئولية الحمل الأقصى

A = Demand charge in $ / KW month

= تكلفة القدرة (بوحدة دولار / ك.و. شهريا)

W_{cu} = KW of load loss

= قدرة مفقودات الحمل (بوحدة KW)

LsF = Loss factor = عامل الفقد

C = Energy charge in $ / KWH

= تكلفة الطاقة (بوحدة دولار / ك.و.س)

AEC = annual energy cost = تكلفة الطاقة السنوية لفقد الحمل

EFC = Total equivalent first cost = تكلفة الأولى المكافئة الكلية لفقد الحمل

CCR = Carrying charge rate = معدل القيمة الجارية

مثال (1)

بيانات محول كالآتى :

Energy charge = تكلفة الطاقة

= $ 0.03 / KWH

Demand charge = تكلفة القدرة =

= $ 10 / KW month

CCR = 12%

Fan run 200 hours / year

H = 200 hr

Peak load responsibility factor = 0.98

Loss factor = 0.408

Peak loading factor = 0.95

أحسب تكلفة المفقودات

الحل :

$$EFC_{nL} = \frac{12 * 10 + 8760 * 0.03}{0.12} = 3190 \quad \$ / W_i$$

$$EFC_{aL} = \frac{12 * 10 + 200 * 0.03}{0.12} = 1050 \quad \$ / W_{aL}$$

$$ADC_{LL} = (0.95 * 0.98)^2 * (12 * 10) = 104 \quad \$ / W_{cu}$$

$$AEC_{LL} = (0.95)^2 * 8760 * 0.408 * 0.03 = 97 \quad \$ / W_{cu}$$

$$TEFC_{LL} = \frac{ADC + AEC}{CCR} = \frac{104 + 97}{0.12} = 1675 \quad \$ / W_{cu}$$

مثال (2)

بيانات محول كالآتى :

Transformer life = عمر المحول

= 25 years

Demand cost = تكلفة القدرة

= 495 $ / KW / year

Interest rate = 8%

Energy cost = تكلفة الطاقة

= 0.1435 $ / KWH

Load loss factor (LsF) = 0.5201

Loading (P) = 100%

أحسب تكلفة المفقودات لمدة 25 سنة بدون تضخم [1] (inflation) للطاقة

الحل :

$$CCR = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$\frac{1}{CCR} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0.08)^{25} - 1}{0.08(1+0.08)^{25}} = 10.67478$$

EFC_{nl} = التكلفة الاوليه المكافئة لفقد اللاحمل

$$= \frac{(12 * A) + (8760 * C)}{CCR}$$

$$= 10.67478 \; [495 + 8760 * 0.1435] = 18702.85 \quad \$/W_i$$

$$TEFC_{LL} = \frac{(P)^2 * 8760 * LsF * C + (12 * A)}{CCR}$$

$$= 10.67478 \; [495 + 8760 * 0.1435 * 0.5021] = 12021.12 \quad \$/W_{CU}$$

---

(1)التضخم: هو تعبير للخسارة فى شراء قوة الدولار (او العملة الأجنبية) خلال فترة زمنية . و يجب ان يؤخذ فى الحسابات عند تحليلات دورة الحياة

مثال (3)

بيانات المحول كالآتى:

Transformer life = عمر المحول

= 25 years

Demand Cost = تكلفة القدرة

= 495 $/KW / Year

Interest rate = 8%

Energy Cos t = تكلفة الطاقة

= 0.131 $/KW

Ls F = 0.5021

P = 70%

Utilization Factor = 0.98

احسب تكلفة المفقودات لمدة 25 سنه بدون تضخم (inflation) للطاقة

الحل :

$$\frac{1}{CCR} = 10.67478 \quad \& \quad (\text{Loading})^2 = 0.49$$

$$EFC_{nL} = 10.67478 \; [8760 * 0.131 * 0.98 + 495]$$

$$= 17288.96 \quad \$ / W_i$$

$$TEFC_{LL} = 10.67478 \; [8760 * 0.131 * 0.501 * 0.49 * 0.98 + 495]$$

$$= 8237.58 \quad \$ / W_{CU}$$

مثال (4)

بيانات المحول كالآتى:

Transformer life عمر المحول=
= 25 years

Load factor عامل الحمل=
= 67.7%

average cost of energ = متوسط تكلفة الطاقة
= 0.1435 $/ KWH

demand cost = تكلفة القدرة =
= 495 $/KW/year

interest rate = معدل الفائدة = 8%

Load loss factor = عامل فقد الحمل = 0.502063

inflation of energy = التضخم فى الطاقة =1%

احسب مفقودات الحمل و اللاحمل لمدة 25 سنة

الحل:

يوضح جدول (2-15) خطوات و نتيجة الحل .. و يلاحظ الآتي:

تكاليف مفقودات اللاحمل :

أ-تحسب تكاليف الطاقة (مع الاخذ فى الاعتبار عامل التضخم) كالاتى:

للسنه الاولى =(8760*0.1435) *1.01 =1269.63 $/ KW

للسنه الثانية = 1269.63 * 1.01 =1282.33 $/ KW

للسنه الثالثة = 1282.33 * 1.01 =1295.15 $/ KW

- -

- -

ب-يحسب عامل القيمة الحالية كالاتى:

$$\text{عامل القيمه الحالية} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

حيث:

n = 1,2, ... 25 year

i = 8%

ج -تحسب القيمه الحالية كالاتى :

القيمه الحالية = المجموع * عامل القيمه الحالية

تكاليف مفقودات الحمل :

أ- تحسب تكاليف الطاقة (مع الاخذ فى الاعتبار عامل التضخم) كالاتى :

للسنه الاولى = (8760*0.1435*0.502063)*1.01 = 637.43 $/KW

للسنه الثانية = (637.43) * 1.01 = 643.81 $/ KW

للسنه الثالثه = (643.81) * 1.01 = 650.25 $/ KW

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

وتكون النتيجة النهائية

القيمة الحالية لتكاليف مفقودات اللاحمل لمده 25 عاما = 20025.19 $ / KW

القيمة الحالية لتكاليف مفقودات الحمل لمدة 25 عاما = 12685.01 $ / KW

جدول (15-2) مثال رقم (4)

تكاليف مفقودات الحمل

السنة Years	تكاليف الطاقة $/KW Energy	تكاليف القدرة $/KW Demand	الاجمالى $/KW Total	عامل القيمة الحالية Present Worth factor	القيمة الحالية $/KW Present Worth
1	637.43	495	1132.43	0.9259	1048.55
2	643.81	495	1138.81	0.8573	976.35
3	650.25	495	1145.25	0.7938	909.13
4	656.75	495	1151.75	0.7350	846.57
5	663.32	495	1185.32	0.6806	788.33
6	669.95	495	1164.95	0.6302	734.12
7	676.65	495	1171.65	0.5835	683.65
8	683.42	495	1178.42	0.5403	636.65
9	690.25	495	1185.25	0.5002	592.92
10	697.15	495	1192.15	0.4632	552.2
11	704.12	495	1199.12	0.4289	514.28
12	711.17	495	1206.17	0.3971	478.99
13	718.28	495	1213.28	0.3677	446.12
14	725.46	495	1220.46	0.3405	415.52
15	732.71	495	1227.71	0.3152	387.03

تكاليف مفقودات اللاحمل

السنة Years	تكاليف الطاقة $/KW Energy	تكاليف القدرة $/KW Demand	الاجمالى $/KW Total	عامل القيمة الحالية Present Worth factor	القيمة الحالية $/KW Present Worth
1	1269.63	495	1784.63	0.9259	1633.92
2	1282.33	495	1777.33	0.8573	1523.77
3	1295.15	495	1790.15	0.7938	1421.08
4	1308.10	495	1803.10	0.7350	1325.33
5	1321.18	495	1816.18	0.6806	1236.06
6	1334.39	495	1829.39	0.6302	1152.83
7	1347.74	495	1842.74	0.5835	1075.22
8	1361.22	495	1856.22	0.5403	1002.86
9	1374.83	495	1869.83	0.5002	935.38
10	1388.58	495	1883.58	0.4632	872.46
11	1402.46	495	1897.46	0.4289	813.79
12	1416.49	495	1911.49	0.3971	759.08
13	1430.65	495	1925.65	0.3677	708.06
14	1444.96	495	1939.96	0.3405	660.48
15	1459.41	495	1954.41	0.3152	616.11

تابع جدول (2-15)

16	1474.00	495	1969.00	0.2919	574.73	16	740.04	495	1235.04	0.29*19	360.50
17	1488.74	495	1983.74	0.2703	536.14	17	747.44	495	1242.44	0.2703	335.79
18	1503.63	495	1998.63	0.2502	500.16	18	754.92	495	1249.92	0.2502	312.79
19	1518.67	495	2013.67	0.2317	466.59	19	762.47	495	1257	0.2317	291.37
20	1533.85	495	2028.85	0.2145	435.29	20	770.09	495	1265.09	0.2145	271.42
21	1549.19	495	2044.19	0.1987	406.09	21	777.79	495	1272.79	0.1987	252.85
22	1564.68	495	2059.68	0.1839	378.86	22	785.57	495	1280.57	0.1839	235.55
23	1580.33	495	2075.33	0.1703	353.46	23	793.43	495	1288.43	0.1703	219.44
24	1596.13	495	2091.13	0.1577	329.77	24	801.36	495	1296.36	0.1577	204.44
25	1612.09	495	2107.09	0.1460	307.67	25	809.37	495	1304.37	0.1460	190.46
Total : $20025.19						Total : $12685.01					

مثال (5)

فى المثال رقم (4) استخدم المتغيرات الآتيه :

Utilization factor = عامل الاستعمال = 98%

Loading = التحميل = 70%

احسب مفقودات الحمل و اللاحمل لمدة 25 سنه

الحل:

جدول (3-15) يوضح خطوات و نتيجة الحل

تكاليف مفقودات اللاحمل :

تحسب تكاليف الطاقة كالآتي :

للسنه الأولى = (8760*0.1435*0.98)*1.01=1244.24 $/ KW

للسنه الثانية = (1244.24) * 1.01 =1256.68 $/ KW

للسنه الثالثة = (1256.68) * 1.01 =1269.25 $/ KW

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

تكاليف مفقودات الحمل :

تحسب تكاليف الطاقة كالاتى :

للسنه الأولى =$(8760*0.1435*0.502063*(0.7)^2*0.98)*1.01$

= 306.1 $/KW

للسنه الثانية = (306.1) * 1.01 = 309.16 $/KW

للسنه الثالثة = (309.16) * 1.01 = 312.25 $/KW

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

وتكون النتيجة النهائية :

القيمة الحالية لتكاليف مفقودات اللاحمل لمدة 25 ساعة = 19730.36 $ /KW

القيمة الحالية لتكاليف مفقودات الحمل لمده 25 ساعة = 8837.97 $ / KW

جدول (15-3) مثال رقم (5)

تكاليف مفقودات الحمل					
السنة Years	تكاليف الطاقة $/KW Energy	تكاليف القدرة $/KW Demand	الاجمالى $/KW Total	عامل القيمة الحالية Present Worth factor	القيمة الحالية $/KW Present Worth
1	306.10	495	801.10	0.9259	741.76
2	309.16	495	804.16	0.8573	689.44
3	312.25	495	807.25	0.7938	640.82
4	315.37	495	810.37	0.7350	595.65
5	318.52	495	813.52	0.6806	553.67
6	321.71	495	816.71	0.6302	514.67
7	324.93	495	819.93	0.5835	478.42
8	328.18	495	823.18	0.5403	444.74
9	331.46	495	826.46	0.5002	413.43
10	334.77	495	829.77	0.4632	384.35
11	338.12	495	833.12	0.4289	357.31
12	341.50	495	836.50	0.3971	332.19
13	344.92	495	839.92	0.3677	308.84

تكاليف مفقودات اللاحمل					
السنة Years	تكاليف الطاقة $/KW Energy	تكاليف القدرة $/KW Demand	الاجمالى $/KW Total	عامل القيمة الحالية Present Worth factor	القيمة الحالية $/KW Present Worth
1	1244.24	495	1739.24	0.9259	1610.41
2	1256.68	495	1751.68	0.8573	1501.78
3	1269.25	495	1764.25	0.7938	1400.52
4	1281.94	495	1776.94	0.7350	1306.10
5	1294.76	495	1789.76	0.6806	1218.08
6	1307.71	495	1802.71	0.6302	1136.01
7	1320.78	495	1815.78	0.5835	1059.49
8	1333.99	495	1828.99	0.5403	988.15
9	1347.33	495	1842.33	0.5002	921.62
10	1360.80	495	1855.80	0.4632	859.60
11	1374.41	495	1869.41	0.4289	801.76
12	1388.16	495	1883.16	0.3971	747.83
13	1402.04	495	1897.04	0.3677	697.54

تابع جدول (3-15)

14	348.37	495	843.37	0.3405	287.13
15	٣٥١,٨٥	495	846.85	0.3152	266.96
16	355.37	495	850.37	0.2919	248.21
17	358.92	495	853.92	0.2703	230.79
18	362.51	495	857.51	0.2502	214.59
19	366.14	495	861.14	0.2317	199.54
20	369.80	495	864.80	0.2145	185.54
21	373.50	495	868.50	0.1987	172.53
22	377.23	495	872.23	0.1839	160.44
23	381.00	495	876.00	0.1703	149.20
24	384.81	495	879.81	0.1577	138.75
25	388.66	495	883.66	0.1460	129.03
				Total :	$883797

14	1416.08	495	1911.08	0.3405	650.64
15	1430.22	495	1925.22	0.3152	606.91
16	1444.52	495	1939.52	0.2919	566.13
17	1458.97	495	1953.97	0.2703	528.10
18	1473.56	495	1968.56	0.2502	492.63
19	1488.29	495	1983.29	0.2317	459.55
20	1503.18	495	1998.18	0.2145	428.70
21	1518.21	495	2013.21	0.1987	399.94
22	1533.39	495	2028.39	0.1839	373.10
23	1548.72	495	2043.72	0.1703	348.08
24	1564.21	495	2059.21	0.1577	324.74
25	1579.85	495	2074.85	0.1460	302.97
				Total :	$19730.36

مثال (6)

للبيانات الأساسية الآتية :

Transformer life = 30 years

Average cost of energy = متوسط تكلفة الطاقه

= 0.06$/ KWH

Interest rate = معدل الفائدة

= 8 %

ولقيم مفقودات الحمل واللاحمل لمحولات 2500 KVA من الانــواع : الجافه والمملوءة بالزيت والمذكوره فى جدول (4-15) .

احسب : قيمة مفقودات الحمل واللاحمــل والتكاليف الكلية لدورة الحياة

الحل :

يوضح الجدولين (4-15) & (5-15) خطوات ونتائج الحل .

جدول (4-15) مقارنة بين تكاليف طاقة المفقودات لمحولات قدرة 2500 KVA من الأنواع الجافة والمملوءة بالزيت

البند	محول مملوء بالزيت	محول جاف (مادة راتنجية مصبوبة) Cast resin	محول جاف VPI [1]
مفقودات الحمل (KW) (Load Loss)	16.38	18.52	21.0
مفقودات اللاحمل (KW) (No Load Loss)	2.66	7.55	7.0
المفقودات الكلية (KW) (Total Losses)	19.04	26.07	28.0
كفاءة تشغيل المحول (%) (Transformer operating efficiency)	99.24	98.97	98.89
القيمة الحالية لمفقودأت الحمل [2] ($) (Present value of load loss)	62000	70100	79500
القيمة الحالية لمفقودات اللاحمل ($) (Present value of No load loss)	15700	44700	41400
القيمة الحالية لتكلفة طاقة المفقودات الكلية ($) (Present value of Total Energy loss costs)	77700	114800	120900

(1) المحول الجاف التقليدي ، مشبع تحت ضغط مفرغ (VPI) Vacuum pressure impregnation

(2) تمت حسابات القيمة الحالية على الأساس الآتي :

عمر التشغيل = 30عام & تكلفة الطاقة = 0.06 $ لكل KWH &

معدل الفائدة السنوي = 8%

Source : www. cooper power . com

جدول (5-15) مقارنة بين تكاليف دورة الحياة لمحولات قدرة 2500 KVA من الأنواع الجافة والمملوءة بالزيت

البند	محول مملوء بالزيت	محول جاف (مادة راتنجية مصبوبة) Cast resin	محول جاف VPI
التكلفة الاولية ($) (First cost)	23000	40000	25400
تكاليف طاقة المفقودات ($) (Loss energy cost)	77700	114800	120900
تكاليف الانشاءات والصيانه ($) (Installation & maintenance costs)	4000	5000	8000
تكاليف اعادة التدوير والتخلص من الهالك ($) (Recycling & disposal costs)	2100	200	1500
التكاليف الكلية لدورة الحياه ($) (Total life cycle cost)	102600	160000	152800

Source : www . cooper power . com

2- الطريقة التقريبية

تحسب مفقودات الحمل و مفقودات اللاحمل باستخدام المعادلة التالية :

$$PW = K * 8760 * C\left[W_i + (LsF)(P)^2 W_{cu}\right]$$

حيث :

PW =Present worth of annual capitalized cost of losses

= القيمة الحالية لتكلفة المفقودات السنوية

K = Present worth factor

= عامل القيمه الحالية =

$$= \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

i = interest rate% = %معدل الفائدة

n = time periods (year) = (ساعة) الدورات الزمنية

C = energy cost in $/KWH

= ($/KWH) تكلفة الطاقة

W_{cu} = Copper losses in KW at full load and 75 °C

= 75°C مفقودات النحاس (بوحدة KW) عند الحمل الكامل و درجة حرارة

W_i = Iron losses in KW at normal voltage and main tapping

= مفقودات الحديد (بوحدة KW) عند الجهد الاسمى و خطوة التقسيم الرئيسية

P = Peak load in pu = (puبالوحدة) اقصى حمل

LsF = load loss factor = عامل فقد الحمل

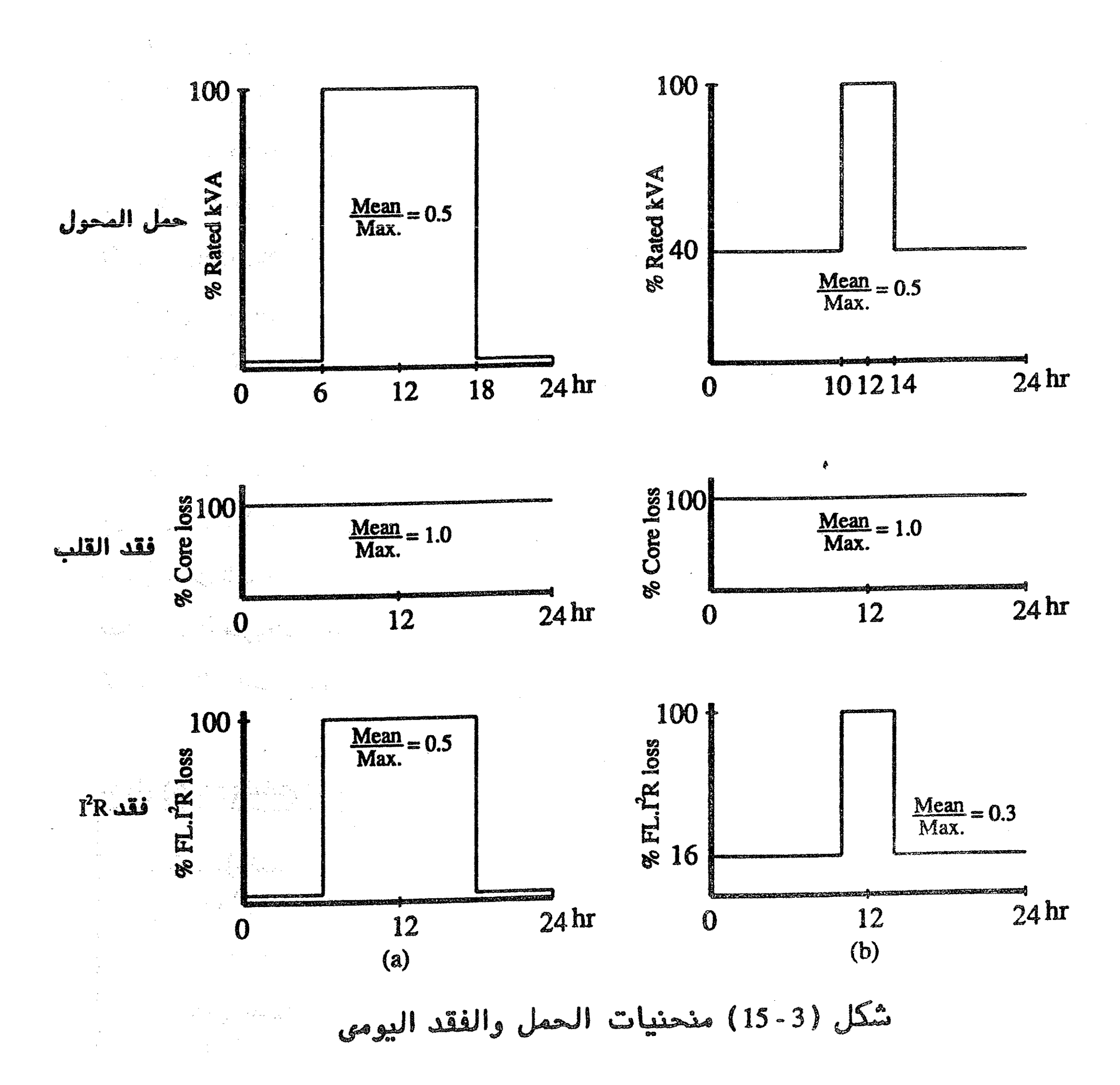
تأثير عامل الحمل على المفقودات:

للمحولات التى تعمل على مدار 24 ساعة يوميا يكون عامل حمل فقد القلب (core-loss load factor) يساوى% 100 ، بصرف النظر عن الحمل المغذى . من جهة أخرى فان مفقودات I^2R تتغير على مدى واسع مثل الحمل ،و على ذلك فان هذه المفقودات تتناسب مع مربع الحمل . يوضح شكل (3-15) منحنيان حمل يومي ، لكل منهما نفس القيمة المتوسطة ، أي نفس عدد KVAR المورد لكل حالة . و يلاحظ أن جذر متوسط مربعات الحمل (rms) لمفقودات I^2R لفترة 24 ساعة يكون% 50، 30% للحالتين b&a على التوالي بينما يكون عاملي الحمل (أي المتوسط / الأقصى) للحالتين يساوى 50% .

وعلية فانه للحصول على اقل فقد كلى KWH لفترة محدودة (مثلا سنه واحدة) ، يجب ان تضبط نسبة فقدI^2R عند الحمل الكامل إلى فقد القلب (ratio of full load I^2R to core loss) تبعا لنوع منحنى الحمل . لا يمكن اعتبار عامل الحمل (load factor) للحمل مرشدا أو دليلا ، لانه توجد منحنيات متغيرة و متعددة و مختلفة لها نفس عامل الحمل ، او لها نفس نسبة متوسط الحمل إلى أقصى حمل ، و لكن يكون لها متوسط مربعات حمل مختلفة و بالتالي لها مفقودات I^2R مختلفة. كمؤشر، تم الحصول على النتائج بجدول (6-15) باستخدام منحنيات حمل لكثير من الشبكات التقليدية

جدول (6-15) نتائج استرشادية لعامل الحمل

عامل حمل المحول (%)	30	40	50	60	70	80
عامل حمل الفقد I^2R (%)	16	25	35	47	60	72



شكل (3 - 15) منحنيات الحمل والفقد اليومى

وعليه فان مفقودات المحول (تبعا لهذه المنحنيات و التى لها عامل حمل % 50 خلال دورة القيمة الكلية لفقد الطاقة) تساوى بصفة مســتمرة % 100 لفقد القلب و حوالــي % 35 لفقـــد I^2R عنـد الحمل الكامـل. من هذا يتضح أن المحول الذي له فقد I^2R عند الحمل الكامل يســاوى 35 / 100(أو ثلاثـة أضعاف فقد القلب) يكـون الأكثر اقتصـاديا من و جهه نظر الفقد

تعتمد قيمه المحول على عده عوامل منها :

تكلفـــة راس المال ، عمر التشغيل ، عامل الهلاك، عامل الحمل، نسبة الفقـــد ، تكلفة الطاقة ونوع تعريفة الحساب ..

من احد الصور العملية (empirical) لحساب التكلفة السنوية للمفقودات :

$$C_{loss} = \left[P_{i+} P_c \left(0.3\,LF + 0.7\,LF^2 \right) \right] C\,\tau$$

حيث

C_{loss} =annual cost of losses

= التكلفة السنوية للمفقودات

P_i =core loss (KW)

= فقد القلب

P_c = full-load I^2R loss (KW)

= فقد I^2R عند الحمل الكامل

LF = Load Factor

= عامل الحمل

τ = hour of connection per annum

= ساعات التشغيل السنوية

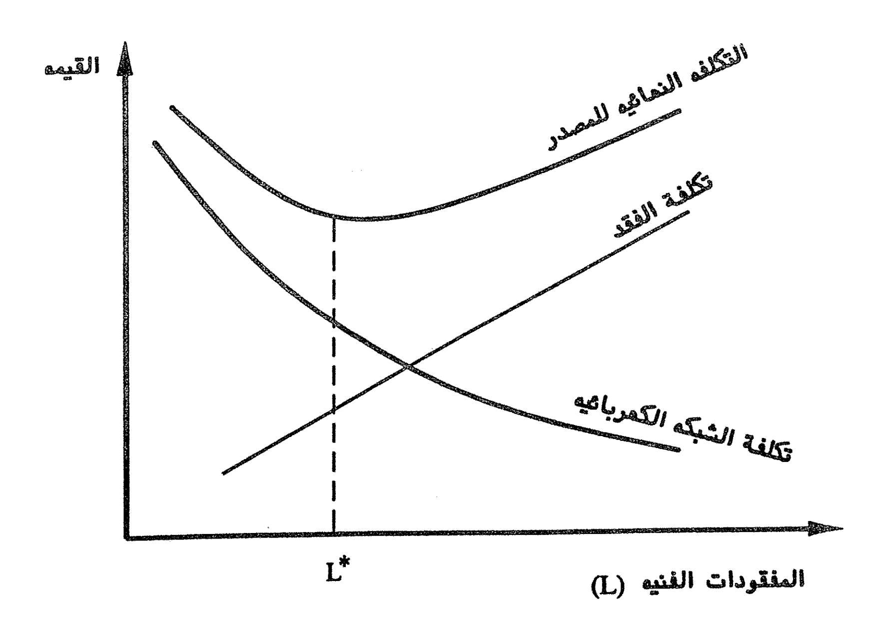
C = energy cost per KWH

= تكلفة الطاقة لكل KWH

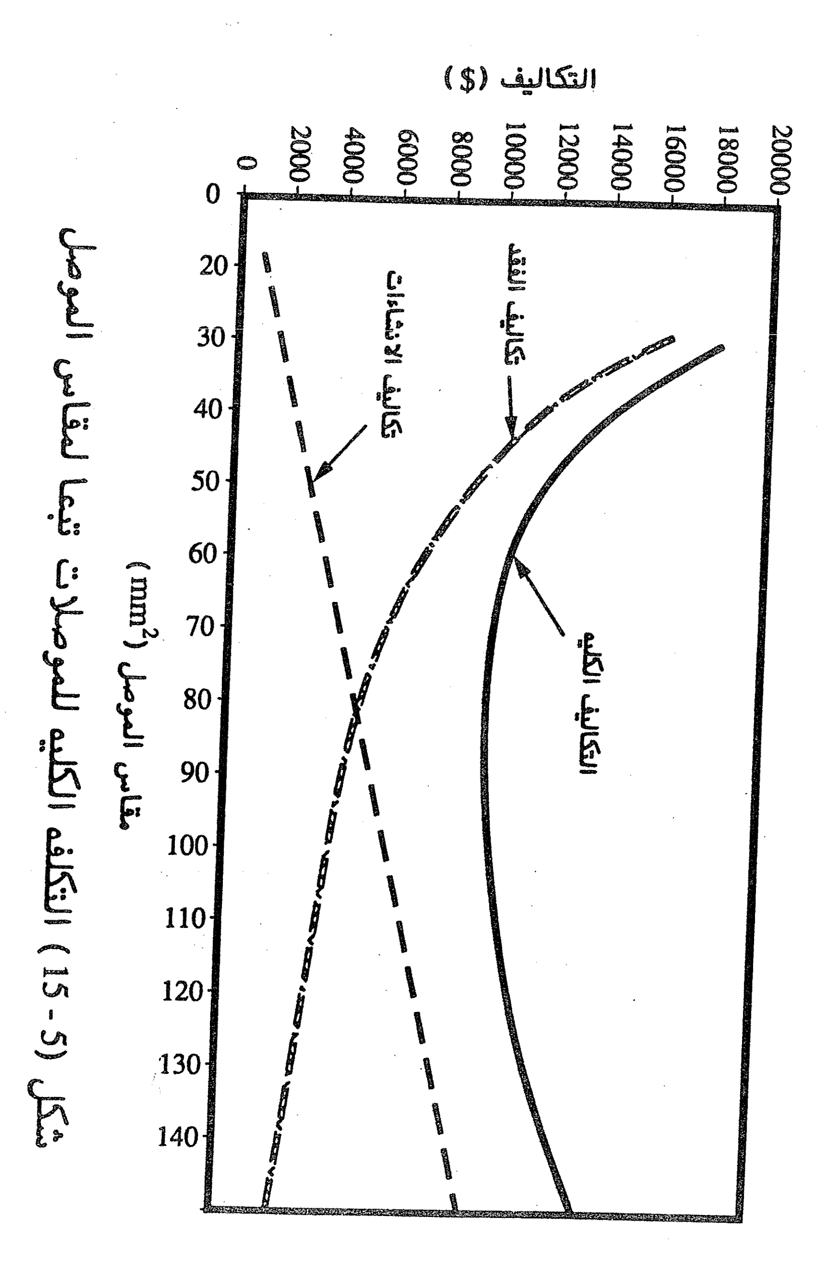
الفقد الاقتصادي المثالي

نحصـــل على الفقد الاقتصادي المثالي عند اقل نقطة فى منحنى التكلفة النهائية لمصدر الــتغذية NSC (Net Supply Cost) و نحصـــل علـــى هذا المنحنى من مجموع : منحـــنى تكلفـــة الشبكة الكهربائية و منحنى قيمه الفقد حيث تمثل النقطة L فى شكل (15-4) الفقد الفني الاقتصادي المثالي.

يوضـــح شكل (15-5) مثال للتغير بين مقاس الموصلات و تكلفة الإنشاءات و تكلفة المفقودات.



شكل (4 - 15) موضع الفقد المثالى (L^*)



شكل (5-15) التكلفه الكليه للموصلات تبعا لمقاس الموصل

الباب السادس عشر
قيم المفقودات الكهربائية فى مكونات
الشبكات الكهربائية

يستعرض هذا الباب نسب أو قيم المفقودات الكهربائية وذلك للاسترشاد بها اذا لم تتوافر من خلال الصانع ، وذلك لمكونات الشبكات الكهربائية التالية :

1- محولات القدرة ومحولات التوزيع
2- مجموعة مفاتيح كهربائية جهد متوسط (قواطع التيار)
3- مفاتيح الفصل على حمل
4- المفاعل
5-المحركات
6- مفاتيح الجهد ألمنخفض
7- مسار القضبان

أولا: المحولات (Transformers)

يتم الحصول على مفقودات المحولات الجديدة من الصانع .

توضح الجداول (1- 16) ، (2- 16) ، (3 - 16) مفقـودات المحولات عند $55^{\circ}C$ زيادة فى درجة الحراره . المحولات ذات مغيرات خطوه عنـد اللاحمـل (without load tap changer) ، وبالتبـريد الذاتى (Self cooled)

نقـاط هامه فى الجـداول (1- 16) ، (2- 16) ، (3 - 16) :

(أ) تتغير مفقودات الحمل (load losses) مع مربع التيار

(ب) مفقودات اللاحمل (no - load losses) موضوعه على أساس الجهد المقنن المسجل بلوحة البيان (name plate) والتى تتغير مباشـرة بدلالة الجهـد . تبعا لموضع مغير الجهد سواء كان على وضع أعلى أو أقل من المقنن المذكور بلوحـة البيان ، عندئذ يتم تصحيح قيمة مفقودات الحمل بالزيادة أو بالنقص تبعا لنسبة تغير الجهد (بين خطوات المغير) .

(ج) للمحولات ذات طرق التبريد (غير التبريد الذاتى) مثل التبريد بالهواء المدفوع (forced - air cooling) أو التبـريد بالهـواء والزيـت المدفوع (forced - oil - air cooling) تحتاج الى تصحيح مفقودات الحمـل والتى تضبط بواسطة الاختـلاف بين مربع التيار الفعلـى (أو KVA الفعلى) والتيـار المقنن (أو KVA المقنن) ،

(د) للمحولات ذات مغيرات الخطوه عند الحمـل (load tap changer) بجـدول (16-2) يضاف من 5% الى 10% من مفقـودات الحمل مع اضافة الضبط الخاص بالجهد المقابل لوضع مغير الجهد .

(هـ) للمحولات ذات مغيرات الخطوه عند الحمل بجدول (3 - 16) يضاف 20% لمفقودات اللاحمل ويضاف 25% لمفقودات الحمل لموحدات المحولات آحادية الطور.

يوضح جدول (4 - 16)المفقودات لنسب تحويل مختلفه ولقـدرات مختلفه بينما يوضح جدول (5 - 16) نسبة المفقودات عند نسب مختلفه من الجهد المقنن .

يوضح جدول (6 - 16) مفقودات محـــولات توزيع امريكيـــة الصنع بدلالة وات لكل ك.ف.أ (W/KVA) (قدرة المحولات المذكوره بالجدول هى القدرة المكافئه لثلاثة وحدات آحادية الطور وهذا شائع فى امريكا الشماليه)

جدول (1 - 16) مفقودات محولات – مراكز احمال – ثلاثى الطور – تبريد زيت أوسيليكون (الجهد الابتدائى -KV- 13.8 -13.2 - 12 - 6.9 - 4.16 – 2.4)
(الجهد الثانوى V 277 / 480 ،- 480)

نسبة الفقد Percent loss (%)	الفقد الكلى Total loss (W)	مفقودات اللاحمل No-load loss (W)	قدرة المحول KVA
1.79	15670	1940	750
1.60	16170	2600	1000
1.51	22910	3390	1500
1.34	27100	3850	2000
1.27	31960	5200	2500

Source : Ref [1]

جدول (16-2) مفقودات المحولات- محطات فرعيه - ثلاثى الطور - تبريد زيت أو سيليكون

نسبة الفقد Percent loss (%)	الفقد الكلى Total loss (W)	مفقودات اللاحمل No-load loss (W)	قدرة المحول (KVA)
جهد الملف الابتدائى (دلتا) 13.8 KV - ، 13.2 - ، 12 - ، 6.9 - ، 4.16 - ، 2.4 جهد الملف الثانوى (دلتا أو نجمه) 480 / 277 V ، 480 -			
1.38	9300	1950	750
1.31	11800	2500	1000
1.21	16300	3400	1500
1.17	21000	4400	2000
1.10	24700	5200	2500
جهد الملف الابتدائى (دلتا) 13.8 KV - ، 13.2 - ، 12. 0 - ، 6.9 جهد الملف الثانوى (دلتا أو نجمه) 4160 V ، 2400 -			
1.22	10000	2400	1000
1.13	15200	3200	1500
1.06	19000	4300	2000
1.00	22500	5000	2500
0.92	31000	6800	3750
0.88	39700	8700	5000
0.80	54000	11500	7500
0.71	64000	15000	10000
جهد الملف الابتدائى (دلتا) 34.4- KV ، 26.4- ، 22. 9 - جهد الملف الثانوى (دلتا أو نجمه) 14400 V - 2400			
1.40	12600	2700	1000
1.24	16700	3600	1500
1.07	24000	5600	2500
0.98	33000	7700	3750
0.94	42500	8500	5000
0.86	58000	12000	7500
0.76	68000	16000	10000

تابع جدول (2-16)

قدرة المحول (KVA)	مفقودات اللاحمل No-load loss (W)	الفقد الكلى Total loss (W)	نسبة الفقد Percent loss (%)
جهد الملف الابتدائىKV 46 (دلتا) (جهد اختبار النبضة 250 KV- BIL) جهد الملف الثانوى (دلتا أو نجمه) V 14400 - 2400			
1000	3200	13500	1.50
1500	4100	17100	1.27
2500	5500	26000	1.16
3750	8000	33600	1.00
5000	9500	42500	0.94
7500	12500	58000	0.86
10000	16500	70500	0.78
جهد الملف الابتدائىKV 69 (دلتا) (جهد اختبار النبضه 350 KV- BIL) جهد الملف الثانوى (دلتا أو نجمه) V 14400 - 2400			
1500	5000	18000	1.33
2500	6000	27900	1.24
3750	8500	36200	1.07
5000	10500	44000	0.98
7500	14000	59000	0.87
10000	17000	72000	0.80

Source : Ref [1]

جدول (16-3) مفقودات المحولات الكبيره – تبريد هواء/زيت – مغير الخطوه عند اللاحمل

نسبة الفقد Percent loss (%)	الفقد الكلى Total loss (KW)	مفقودات اللاحمل No-load loss (KW)	قدرة المحول (KVA)
جهد الملف الابتدائى 69 KV (دلتا) (جهد اختبار النبضه 350 KV - BIL) جهد الملف الثانوى 15 KV (نجمه) (جهد اختبار النبضه 110KV - BIL)			
0.82	89	32.3	12000
0.71	128	42.5	20000
0.67	150	50	25000
0.63	171	57	30000
0.61	191	64	35000
0.58	210	70	40000
0.55	247	82.5	50000
جهد الملف الابتدائى 115 KV (دلتا) (جهد اختبار النبضه 550 KV - BIL) جهد الملف الثانوى 15 KV (نجمه) (جهد اختبار النبضه 110KV - BIL)			
1.22	55.0	14.5	5000
1.04	70.5	21.7	7500
0.90	81.0	32.3	10000
0.79	114.1	45.5	16000
0.72	130.0	47.2	20000
0.68	153.0	55.5	25000
0.64	174.0	63.5	30000
0.62	195.0	71.0	35000
0.59	214.0	78.0	40000
0.56	252.0	91.5	50000
جهد الملف الابتدائى 138 KV (دلتا) (جهد اختبار النبضه 650 KV - BIL) جهد الملف الثانوى 15 KV (نجمه) (جهد اختبار النبضه 110KV - BIL)			
1.20	54.0	19.0	5000
1.09	73.5	23.5	7500
0.97	87.5	30.7	10000
0.83	120.0	47.8	16000
0.73	132.0	48.0	20000
0.69	155.0	56.5	25000
0.66	177.0	64.5	30000
0.63	198.0	72.0	35000
0.66	217.0	79.0	40000
0.57	255.0	92.0	50000

Source : Ref [1]

جدول (4-16) مفقودات محولات التوزيع - وحدات نموذجيه آحادية الطور - تردد 50 or 60 HZ

نسبة التحويل / قدرة المحول (KVA)	2400/4160 y or 120/240 volt		4800/8320 y or 120/240 volt		7200/12470 y or 120/240 volt		14400/24949 y or 120/240 volt		34500 /19920y or 120/240 volt	
	فقد اللاحمل (w)	الفقد الكلي (w)	فقد اللاحمل (w)	الفقد الكلي (w)	فقد اللاحمل (w)	الفقد الكلي (w)	فقد اللاحمل (w)	الفقد الكلي (w)	فقد اللاحمل (w)	الفقد الكلي (w)
5	36	125	36	133	36	138	36	142	-	-
10	59	180	59	183	59	184	59	200	59	202
15	79	232	76	242	76	255	76	263	76	290
25	109	380	109	370	109	404	109	420	109	432
37.5	158	495	158	521	158	550	158	565	158	557
50	166	611	166	613	166	671	166	717	166	714
75	274	916	274	918	274	937	274	1024	274	981
100	319	1192	319	1146	319	1200	319	1300	319	1247
167	530	2085	530	2085	530	2085	530	2085	530	2085
نسبة تحويل	240/480 V		240/480 V		240/480 V		240/480 V		240/480 V	
250	625	2800	625	2800	625	2800	625	2800	625	2800
333	800	3400	800	3400	800	3400	800	3400	800	3400
500	1100	4850	1100	4850	1100	4850	1100	4850	1100	4850

Source : Ref. [2]

جدول (5-16) مفقودات التوزيع عند نسب مختلفه من الجهد المقنن

(وحدات أحادية الطور نموذجيه – 50/60HZ – امريكية الصنع)

نسبة فقد الحمل Load loss %	نسبة فقد اللاحمل No- load loss %	نسبة الجهد المقنن Rated voltage %	نسبة فقد الحمل Load loss %	نسبة فقد اللاحمل No- load loss %	نسبة الجهد المقنن Rated voltage %
1.00	1.00	100	1.56	0.61	80
0.98	1.03	101	1.52	0.62	81
0.96	1.06	102	1.47	0.64	82
0.94	1.08	103	1.45	0.66	83
0.93	1.12	104	1.41	0.67	84
0.92	1.15	105	1.37	0.69	85
0.89	1.18	106	1.36	0.71	86
0.88	1.21	107	1.32	0.72	87
0.86	1.25	108	1.28	0.74	88
0.84	1.28	109	1.25	0.76	89
0.83	1.32	110	1.24	0.77	90
0.81	1.36	111	1.21	0.79	91
0.80	1.39	112	1.18	0.81	92
0.79	1.44	113	1.15	0.83	93
0.77	1.48	114	1.13	0.85	94
0.76	1.52	115	1.11	0.88	95
0.75	1.56	116	1.09	0.90	96
0.73	1.60	117	1.07	0.92	97
0.72	1.65	118	1.04	0.95	98
0.70	1.74	120	1.02	0.98	99

Source : Ref [2]

جدول (6-16) مفقودات محولات التوزيع امريكية الصنع (12/0.4 KV, 3 phase)

مدى القدرة KVA Range	فقد اللاحمل W/KVA	الفقد الكلى W/KVA
45 - 50	6.00	25.67
51 - 75	5.52	24.12
76 - 150	5.04	17.84
151 - 225	3.44	17.57
226 - 300	3.60	16.50
331 - 500	3.16	15.50
501 - 1000	2.61	14.32

Source : Ref [3]

تزيد مفقودات الحمل واللاحمل للمحولات فى حالة تشغيل نقط التقسيم with tap hanger) عنها فى حالة عدم تشغيل نقط التقسيم ، ويوضح جدول(16-7) هذه المفقودات لمحولات – ثلاثية الاطوار – قدرات مختلفة .

بتحسين خصائص مكونات المحولات أمكن الحصول على مفقودات أقل من المفقودات التقليديه .. من أمثلة ذلك مفقودات محولات التوزيع الموضحه بجدول (16-8) والتى توضح مقارنه بين مفقودات الحمل واللاحمل لمحولات ذات مفقودات عاديه واخرى ذات مفقودات منخفضه ..

لتحسين خصائص القلب يستخدم الصلب السيليكونى ذو الفقد المنخفض Low-loss) silicon steel (والذى يمتاز عن السيليكون التقليدى (Typical silicon) فى :

- تحسين هيكلة الصلب السيليكونى نفسه
- تحسين قطع شرائح القلب
- تحسين عملية تجميع شرائح القلب
- تحسين نموذج الحاسب الآلى الخاصه بحسابات مفقودات اللاحمل

كذلك أصبح من الشائع استخدام المعادن غير المتبلوره (Amorphous metals) لتخفيض مفقودات القلب والتى تمتاز بمنحنى مغنطه ضيق جدا

ويوضح شكل (16-1) مقارنه بين التركيب الهيكلى لصلب سليكونى متبلور ومعدن غير متبلور .

ويوضح شكل (16-2) مقارنه بين منحنى المغنطه لكل من الصلب السيليكونى المتبلور ومعدن غير متبلور .

يبين جدول (16-9) مفقودات اللاحمل لمحولات قدرات مختلفه ذات صلب سيليكونى تقليدى وصلب سليكونى ذى فقد منخفض ومعدن غير متبلور .

جدول(7-16) مفقودات الحمل واللاحمل لمحولات القدرة فى وجود أو عدم وجود نقط التقسيم .

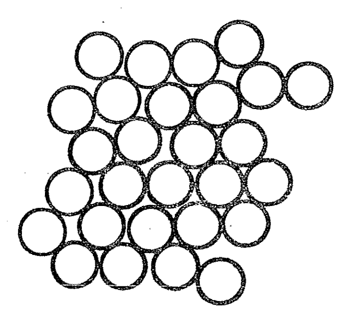
مقنن محول ثلاثى الطور (MVA)	مفقودات اللاحمل فى وجود نقط تقسيم (KW)	مفقودات احمل فى عدم وجود نقط تقسيم (KW)	مفقودات الحمل فى وجود نقط تقسيم (KW)	مفقودات الحمل فى عدم وجود نقط تقسيم (KW)	الفرق السنوى فى المفقودات (KWH)*
5	10	9	31	30	11000
10	17	16	53	50	17000
15	23	22	70	67	26000
20	29	27	86	82	28000
25	34	32	101	96	31000
30	40	38	115	109	33000
40	50	47	141	134	45000
50	60	57	165	157	48000
60	70	66	188	179	59000
80	87	84	232	221	73000
100	106	101	272	259	78000

* المفقــودات السنويه (KWH) محسوبه على أساس تحميل المحول المذكور بلوحة البيان وعند 0.3 عامل فقد & و 0.1 عامل فقد للمساعدات .

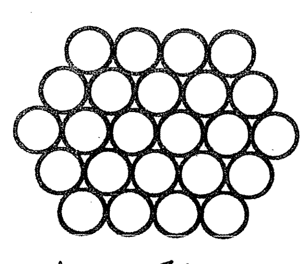
Source : Courtesy of Western Area Power Administration

جدول (8-16) مفقودات محولات التوزيع قدرات مختلفه (انتاج شركة الماكو – مصر)

محولات ذات مفقودات منخفضة جهد النظام 12 KV		محولات ذات مفقودات عاديه جهد النظام 24 KV		محولات ذات مفقودات منخفضة جهد النظام 12 KV		مقنن القدرة (KVA)
مفقودات اللاحمل (W)	مفقودات الحمل عند $75^{o}c$ (W)	مفقودات اللاحمل (W)	مفقودات الحمل عند $75^{o}c$ (W)	مفقودات اللاحمل (W)	مفقودات الحمل عند $75^{o}c$ (W)	
-	-	120	570	120	680	25
-	-	210	1180	190	1300	50
-	-	250	1450	215	1430	63
195	1150	300	2230	300	2190	100
300	1150	420	3220	420	2930	160
360	1840	510	3700	510	3730	200
440	2090	610	5220	610	5440	300
520	3260	890	7050	890	7900	500
720	4850	1100	8550	1100	8750	630
-	-	1250	10600	1250	10720	800
1000	6300	1400	12700	1400	14230	1000
1100	9400	1900	19800	1900	20200	1500
1800	13500	2170	20580	2170	20250	1600
-	-	2350	25200	2350	23400	2000
2850	20420	2850	29500	2850	30500	2500
2850	26870	3300	35300	3300	35000	3000

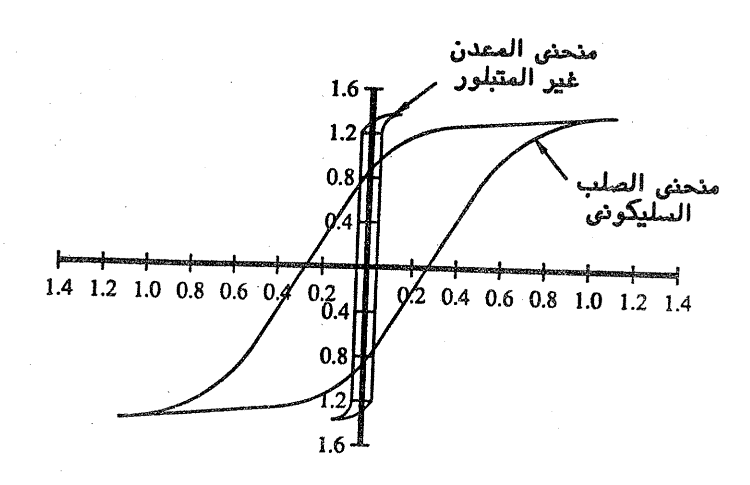


معدن غير متبلور



صلب سليكونى متبلور

شكل (1 - 16) التركيب الهيكلى لصلب سليكونى ومعدن غير متبلور



شكل (2 - 16) منحنى المغنطه لكل من الصلب السليكونى ومعدن غير متبلور

جدول (16-9) مقارنه بين مفقودات اللاحمل لمحولات توزيع قدرات مختلفه بأستخدام صلب سيليكونى تقليدى وسيليكونى ذى فقد منخفض وغير متبلور

	مقنن المحول (KVA)	سيليكون تقليدى Typical silicon	سيليكون ذو فقد منخفض Low-loss silicon	معدن غير متبلور Amorphous
		مفقودات اللاحمل (W)		
محول أحادى الطور	10	60	30	11
	25	100	50	20
	50	210	105	32
	75	260	130	39
	100	320	160	54
محول ثلاثى الطور	75	370	185	67
	150	540	270	107
	300	950	425	185
	500	1400	710	260
	750	1750	875	310
	1000	2400	1200	420
	1500	3600	1800	555
	2000	4000	2000	750
	2500	4800	2400	850

Source : Courtesy of GE

مفقودات محولات التوزيع بدول الاتحاد الاوربى

يوضح جدول (16-10) المفقــودات القياســيه لمحولات التــوزيع قــدرات مختلفــه 50 & 100 & 160 & 250 & 400 & 630 & 1000 & 1600 & 2500 KVA جهد 24 KV & 12 ..

للمحولات مغموره فى الزيت أو الجافه .. ويوجد ثلاثة طرازات A ، B ، C تمثل ثلاثة مستويات للفقد .

يوضح شكل(16-3) حدود نسبة مفقــودات محــولات التوزيع قــدرات مختلفة جهد 12 KV & 24 KV طبقا للمواصفات القياسيه الاوربيه .

ويوضح شكل (16-4) حدود قيمة الفقد الكلى لمحول قدرة 400 KVA جهد 12KV & 24KV عند نسب تحميل مختلفه طبقا للمواصفات القياسيه الاوربيه .

بينما يوضح شكل (16-5) حدود نسبة الفقد منسوبا الى الحمل الكامل لمحول قدرة 400KVA جهد 12KV & 24KV عند نسب تحميل مختلفه طبقا للمواصفات القياسيه الاوربيه .. يلاحظ فى هذا الشكل أن التغير فى الفقد على شكل حرف U وأن المحولات تكون كفاءتها نموذجيه عند 50% من الحمل .

مقارنه بين مفقودات المحولات المغموره فى الزيت والمحولات الجافه

توضح الجداول (16-11) & (16-12) & (16-13) مقارنه بين مفقودات المحولات المغموره فى الزيت والمحولات الجافه لقدرات مختلفه عند الحمل الكامل وعند نصف الحمل ، ولقدرات ونسب تحويل مختلفة .

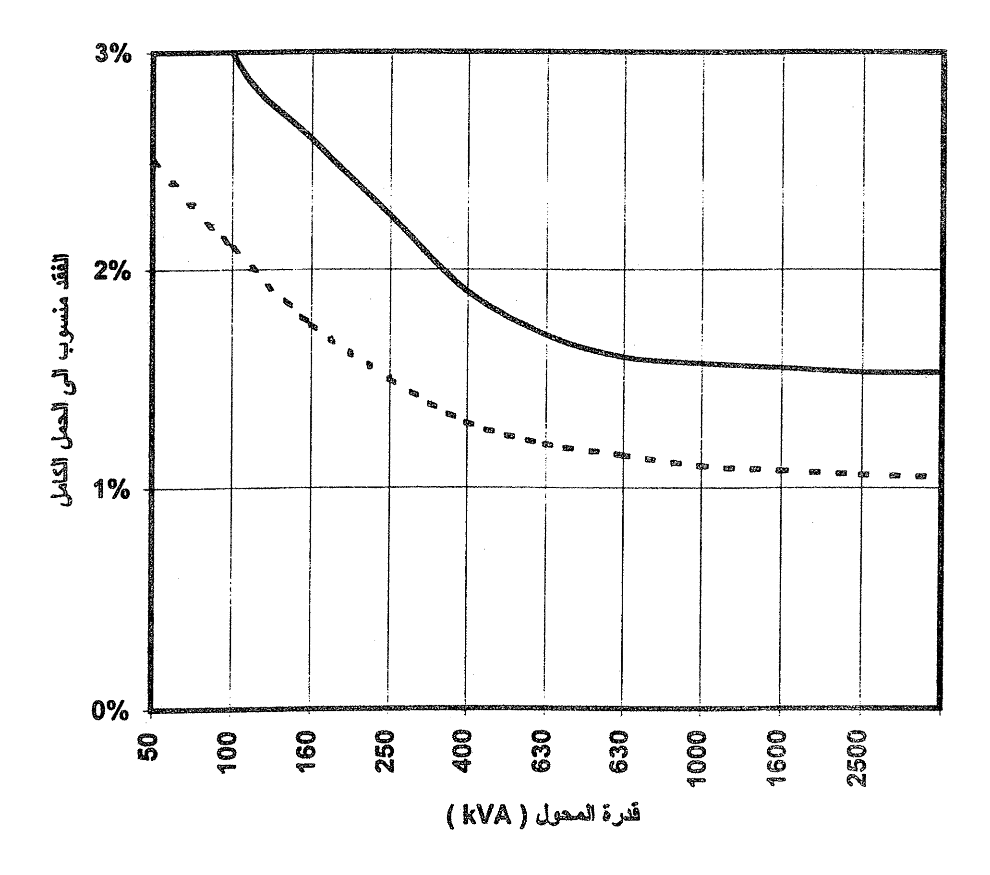
يبين جدول (16-14) مفقودات محولات جافه ذات قدرات مختلفه ونسب جهود مختلفه ويعرض جدول (16-15) مفقودات ونسبة معاوقه ونسبة تحويل محولات جافــه ذات قدرات مختلفه .

يمثل شكل (16-6) مقارنه بين مفقودات وكفاءة محولات قــدرة 2500KVA من الانواع الجافه والمملوءه بالزيت .

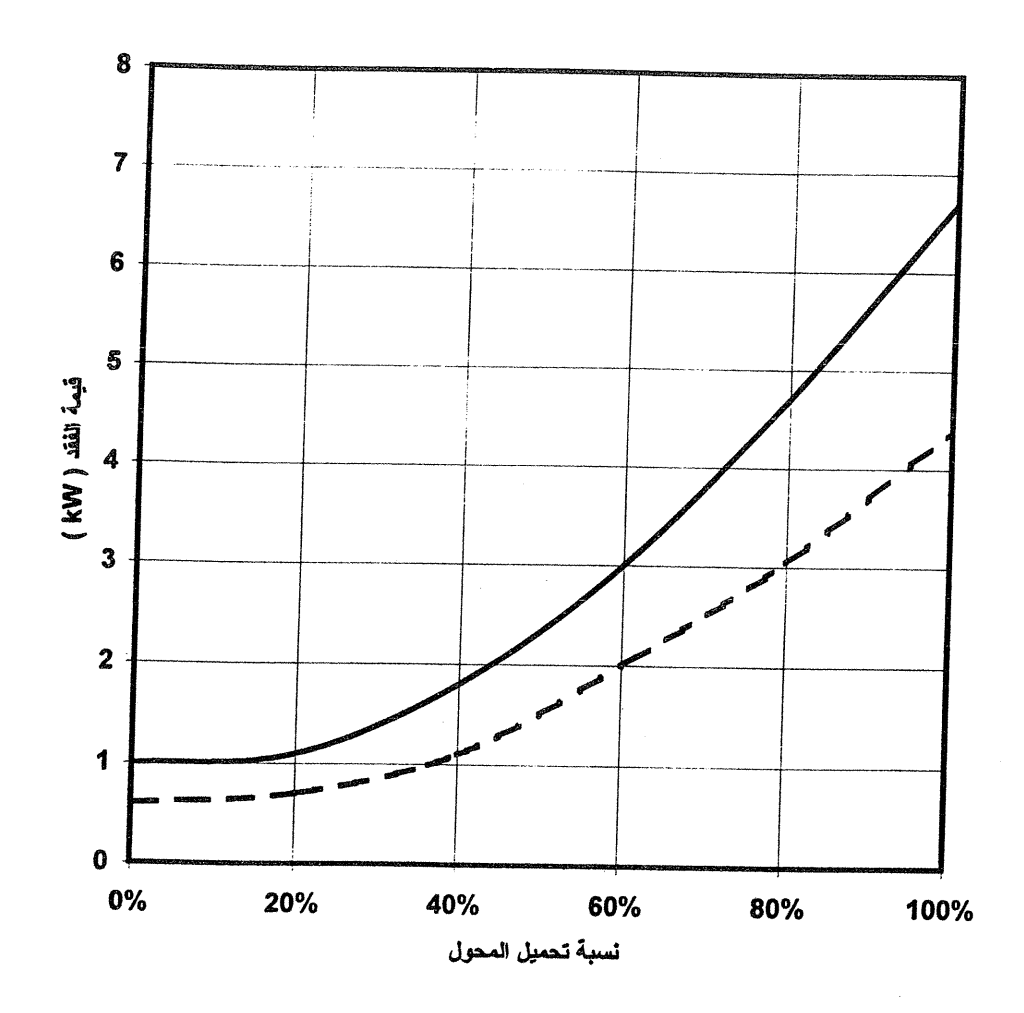
جدول (16-10) المفقودات القياسية لمحولات التوزيع طبقا للمواصفات القياسية الاوربيه

قدرة المحول KVA	مفقودات الحمل (Load Losses) (W)				مفقودات اللاحمل (No Load Losses) (W)			
	المحولات المغمورة فى الزيت (حتى 24 KV)			المحولات الجافه جهد 12 KV	المحولات المغمورة فى الزيت (حتى 24 KV)			المحولات الجافة جهد 12 KV
	طراز A	طراز B	طراز C		طراز A	طراز B	طراز C	
50	1100	1350	875	-	190	145	125	-
100	1750	2150	1475	2000	320	160	210	440
160	2350	3100	2000	2700	460	375	300	610
250	3250	4200	2750	3200	650	530	425	820
400	4600	6000	3850	4900	930	750	610	1150
630	6500	8400	5400	7300	1300	1030	860	1500
630	6750	8700	5600	7600	1200	940	800	1370
1000	10500	13000	9500	10000	1700	1400	1100	2000
1600	17000	20000	14000	14000	2600	2200	1700	2800
2500	26500	32000	22000	21000	3800	3200	2500	4300

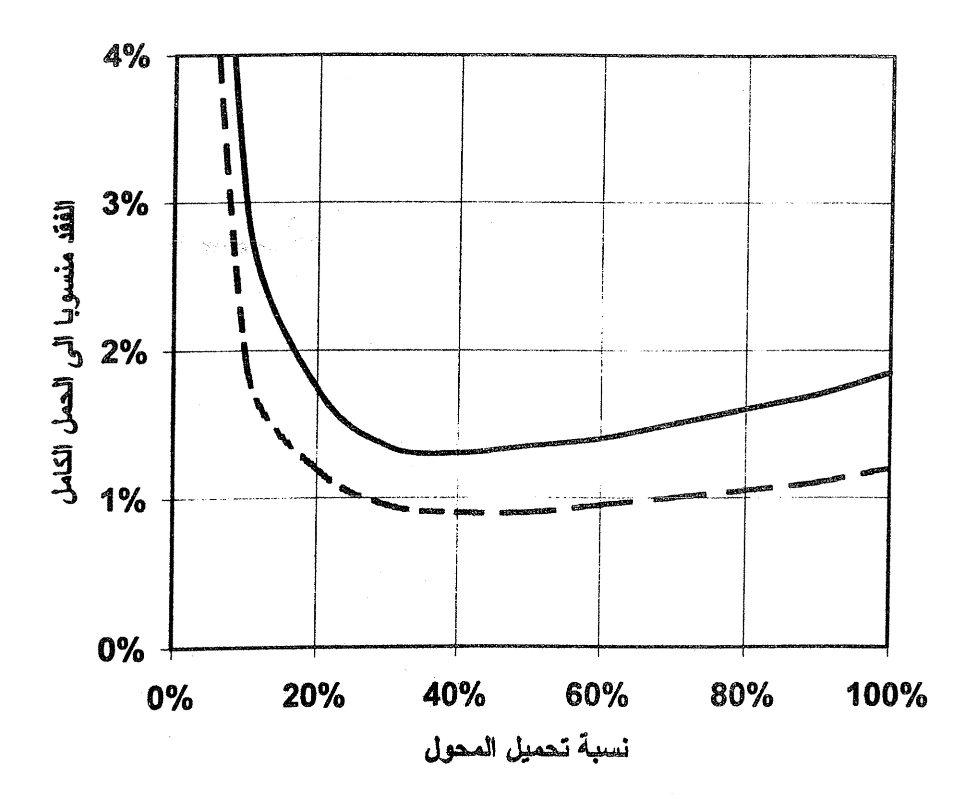
Source : Ref. [6]



شكل (3 - 16) حدود مفقودات محولات قدرات مختلفه جهد 24 kV & 12 kV
طبقا لمواصفات الاتحاد الاوربى



شكل (4 - 16) حدود قيمة المفقودات الكليه لمحول قدرة 400 kVA
جهد 24 kV & 12 kV عند نسب تحميل مختلفه
طبقا لمواصفات الاتحاد الاوربى



شكل (5 - 16) حدود نسبة المفقودات لمحول قدرة 400 kVA
جهد 24 kV & 12 kV عند نسب تحميل مختلفه
طبقا لمواصفات الاتحاد الاوربى

جدول (11-16) مقارنه بين مفقودات المحولات المغمورة فى الزيت والمحولات الجافة صناعة أمريكية ثلاثية الطور [14]

المحولات المغمورة فى الزيت				المحولات الجافة						
				القدرة KVA	95 KV BTL **			125 KV BTL		
القدرة KVA	فقد اللاحمل (W)	فقد الحمل * (W)	الفقد الكلى (W)		فقد اللاحمل (W)	فقد الحمل * (W)	الفقد الكلى (W)	فقد اللاحمل (W)	فقد الحمل * (W)	الفقد الكلى (W)
500	1330	3600	4930	500	2400	7600	10000	2500	8900	11400
750	1760	6140	7900	750	3000	12000	15000	3700	13000	16700
1000	2020	6700	8720	1000	3400	13000	16400	4400	15000	19400
1500	2810	11070	13880	1500	4500	18000	22500	5000	18000	23000
2000	3390	12920	16310	2000	5400	21000	26400	6400	23000	29400

* عند الحمل الكامل

** BTL: Basic Impulse Insulation Level

(قيمة جهد الاختبار لملفات الجهد العالى)

جدول (12-16) مقارنه بين مفقودات المحولات المغمورة فى الزيت والمحولات الجافة عند نصف الحمل وعند الحمل الكامل – صناعه أمريكية ثلاثية الطور – [14]

القدرة KVA	الفقد عن نصف الحمل (W)	الفقد عند الحمل الكامل (W)	القدرة KVA	الفقد عن نصف الحمل (W)	الفقد عند الحمل الكامل (W)
المحولات المغمورة فى الزيت			المحولات الجافة		
500	2465	4930	500	5000	10000
750	3950	7900	750	7500	15000
1000	4360	8720	1000	8200	16400
1500	6940	13880	1500	11250	22500
2000	8155	16310	2000	13200	26400

جدول (13-16) مقارنه بين مفقودات المحولات المغمورة بالزيت والمحولات الجافة لقدرات مختلفة

الجهد (KV)	المحولات المغمورة بالزيت		المحولات الجافة	
	القدرة (KVA)	الفقد الكلى (KW)	القدرة (KVA)	الفقد الكلى (KW)
11/0.38	250	3.9	350	3.7
	500	6.6	700	6.35
	1000	12.2	1400	10.8
	1600	19.2	2240	15.3
	2000	24.9	2800	19.5
	4000	37.1	5600	33.5
22/0.38	250	3.9	350	4.0
	500	6.6	700	7.5
	1000	12.2	1400	12.0
	1600	19.2	2240	17.1
	2000	24.9	2800	21.1
	4000	37.1	5600	33.5

* قدرة المحولات الجافة فى حالة استخدام نظام تبريد بالمراوح

Source : www. Smittransformers . com

جدول (14-16) مفقودات محولات جافه قدرات مختلفة (عند درجات حرارة مختلفة)

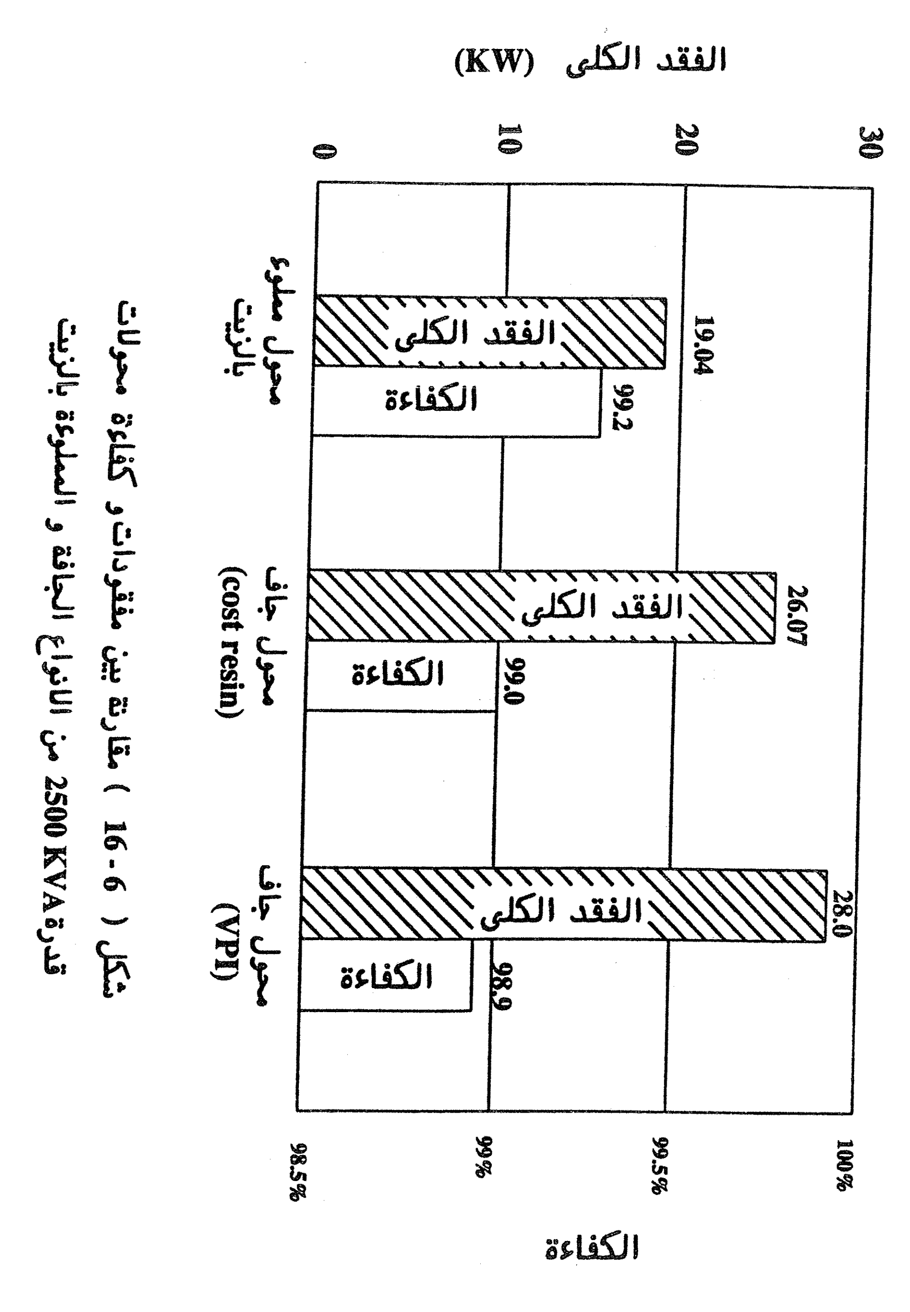
نسبة التحويل	5 to 10 KV / 0.4 KV			15 to20 KV / 0.4 KV		
جهد العزل	7.2 KV & 12 KV			17.5 KV & 24 KV		
القدرة KVA	فقد اللاحمل (W)	فقد الحمل (75°C) (W)	فقد الحمل (120°C) (W)	فقد اللاحمل (W)	فقد الحمل (75°C) (W)	فقد الحمل (120°C) (W)
160	610	2300	2700	650	2300	2700
250	820	3100	3500	880	3300	3800
315	950	3600	4100	1030	4000	4600
400	1150	4300	4900	1200	4800	5500
500	1300	5200	6000	1400	5700	6500
630	1500	6400	7300	1650	6800	7800
800	1700	7700	8800	2000	8200	9400
1000	2000	8800	10000	2300	9600	11000
1250	2500	10500	12000	2800	11500	13100
1600	2800	12300	14000	3100	14000	16000
2000	3500	14900	17000	4000	17500	20000
2500	4300	18300	21000	5000	20000	23000
3150	5500	22000	25000	6300	23000	26000

Source : http :// www . schneider . electric . com

جدول (15-16) مفقودات المحولات الجافه ذات قدرات مختلفه ونسب تحويل مختلفه

قدرة المحول (KVA)	نسبة التحويل (KV)	نسبة المعا وقه (Z%)	فقد اللاحمل (KW)	فقد الحمل (KW)
10	0.38/0.048	3	0.11	0.25
25	0.38/0.052	4	0.17	0.40
40	0.38/0.122	4	0.24	0.68
60	0.5/0.23	4	0.40	1.0
100	10/0.4	3.5	0.86	1.05
160	6/0.47	8	0.55	2.8
200	6.3/0.4	4	0.95	2.5
250	20/0.4	6	1.3	3.2
315	6/0.47	4	1.4	2.4
400	6.3/0.4	6	1.5	3.8
630	6.3/0.66	6	1.75	6.0
630	20/0.4	6	2.3	7.2
750	13.8/0.4	8	1.9	6.5
800	6/0.427	6	2.1	7.0
900	6/0.66	6.5	2.2	6.8
1000	6/0.4	6	2.5	8.5
1000	10/0.4	6	2.7	8.5
1600	6.3/0.4	6	3.0	11.0

Source : http : // www . electroputere . ro / tra /en /



شكل (6-16) مقارنة بين مفقودات و كفاءة محولات قدرة 2500 KVA من الانواع الجافة و المملوءة بالزيت

ثانيا: مجموعة مفاتيح كهربائية جهد متوسط

(Medium- voltage switchgear)

يوضح جدول (16-16) المفقودات التقديرية عند الحمل الكامل لمفاتيح كهربائية جهد 5 KV ، 15 KV ومركبه داخل مبنى (indoor) .

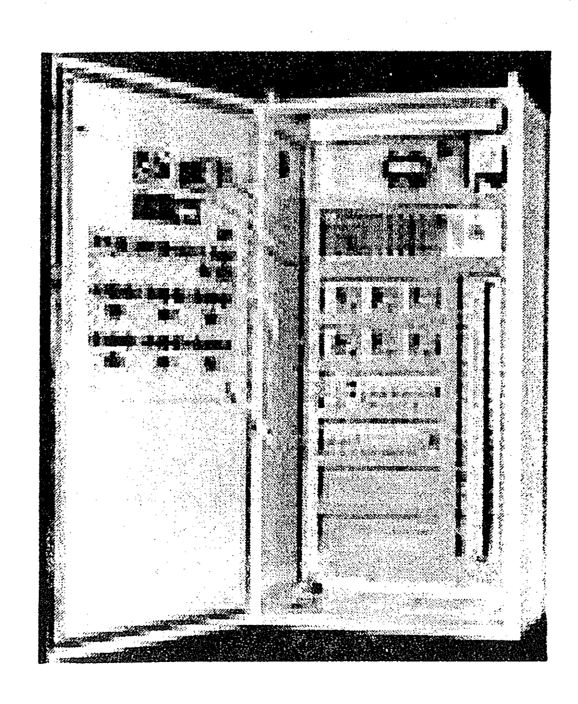
عند التركيب خارج مبنى تؤخذ الملاحظات التالية فى الاعتبار :

* يضاف 500 w/unit للسخانات فى المفاتيح المحتوية على مغناطيس يعمل بالهواء (air magnetic)

* يضاف 300 w / unit للسخانات فى المفاتيح من نوع الهواء المفرغ (vacuum)

وتكون نفس المفقودات تقريبا فى حالتي القضبان النحاس أو الألومنيوم وتتغير المفقودات مع مربع التيار اذا كانت خارج المدى المذكور بالجدول .

يوضح جدول (16-17) نسبة فقد الطاقة فى وحدات المفاتيح عند 0.9 PF لجميع قيم المقننات ..



جدول (16-16) تقرير مفقودات المفاتيح عند الحمل الكامل (جهد 5 KV - 15 KV)

وحدة المفتاح معدل التيار (Ampere)	فقد القدرة (Watts loss)		
	Magnetic high (1)	Vacuum high (1)	Vacuum high (2)
(1) 1200	1000	675	-
(2) 1200	-	-	1220
(1) 2000	1500	1335	-
(1) 2000 + (1) 1200	-	-	1880
(1) 3000	2500	2030	-
سخان لكل وحده	330		
المساعدات (قيمه متوسطه)	600		
مواسير القضبان 1299 A 75 w / ft 2000 A 100 w / ft 3000 A 175 w / ft			

جدول (16-17) نسبة مفقودات الطاقه للمفاتيح عند 0.9 PF لجميع القدرات

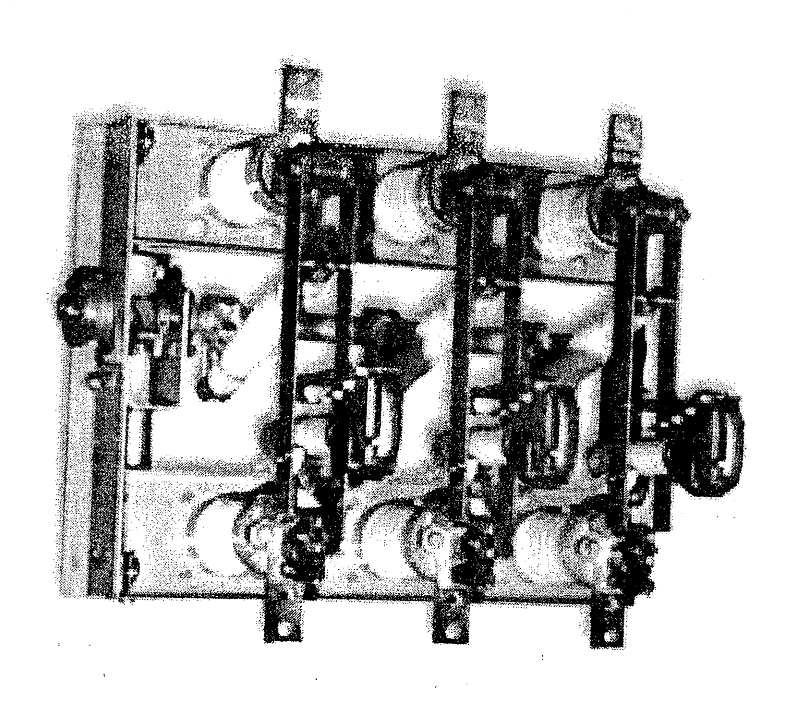
الجهد (KV)	الكفاءة %	المفقودات %
2.4	99.98	0.02
4.16	99.99	0.01
13.8	99.994	0.006

ثالثا : مفاتيح الفصل على حمل (load - break switches)

يوضـــح جـــدول (16-18) مفقودات القدرة عند الحمل الكامل لكل وحدة مفتاح الفصل علـــى الحمـــل (بدون مصهر) ولمصهرات الحد من التيار للجهود 15 KV & 5KV يراعى أن المفقودات تتغير مع مربع التيار .

يوضـــح جدول (16-19) نسبه الفقد لمفاتيح الحمل (بدون مصهر) لمقنن 600A & 1200 A وعند معامل قدرة 0.9 للحمل .

ويبيـــن جـــدول (16-20) مفقودات مصهرات الحد من التيار ذات الكفاءة العاليه عند مقننات مختلفة للجهود 15 KV & 5KV



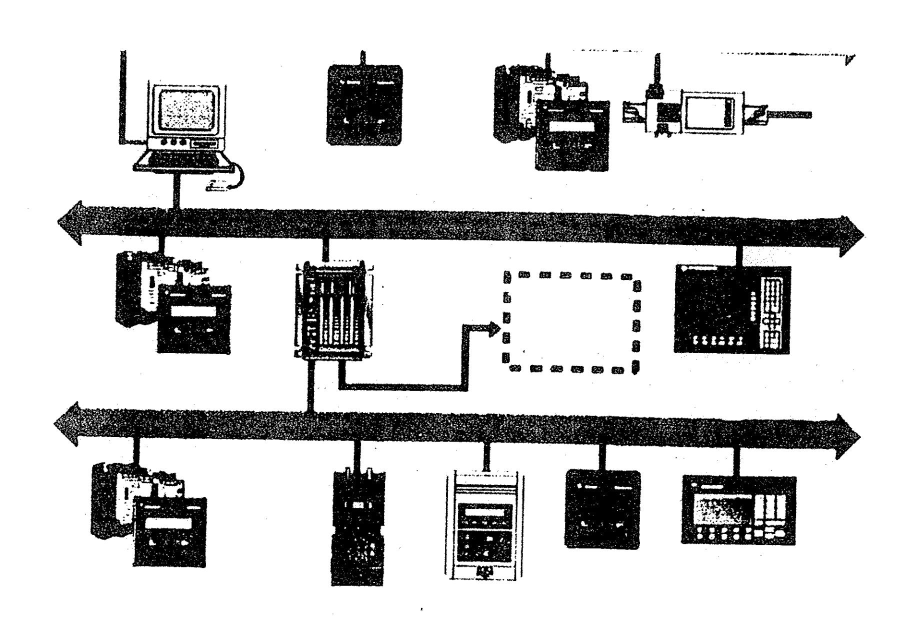
جـدول (18-16) فقـد القدرة النموذجى عند الحمل الكامل لمفاتيح الفصل على حمل ومصهرات الحد من التيار .

تيار الحمل (Load current) (Amp)	فقد القدرة (watt)		
	مفتاح بدون مصهر (unfused switch)	المصهر (fuse)	المجموع
(1) مفتاح 5 KV & 600A			
50	5	109	114
100	14	171	185
200	55	300	355
300	125	405	530
400	222	528	750
500	347	-	-
600	500	-	-
(2) مفتاح 5 KV & 1200A			
50	2	109	111
100	5	171	176
200	20	300	320
300	46	405	451
400	83	528	611
500	130	-	-
600	187	-	-
800	333	-	-
1000	521	-	-
1200	750	-	-
(3) مفتاح 15 KV & 600A			
50	5	468	473
100	14	502	517
200	55	-	-
300	125	-	-
400	222	-	-
500	347	-	-
600	500	-	-

تابع جدول (18-16)

(4) مفتاح 15 KV & 1200A			
50	2	468	470
100	5	502	507
200	20	-	-
300	46	-	-
400	83	-	-
500	130	-	-
600	187	-	-
800	333	-	-
1000	321	-	-
1200	750	-	-

Source : Ref [1]



جدول (16-19) نسبة الفقد عند 0.9 PF للحمل

الجهد / تيار المفتاح (A)	نسبة الفقد (%)		
	2400 V	4160 V	13800 V
600	0.022	0.013	0.004
1200	0.017	0.009	0.003

جدول (16-20) مفقودات مصهرات الحد من التيار ذات الكفاءة العاليه

5 KV		15 KV	
المقنن (A)	الفقد (W)	المقنن (A)	الفقد (W)
250	170	100	140
300	165	125	170
350	180	150	175
400	195	175	190
450	210	200	220

رابعا:المفاعل (Reactor)

المفاعل معده كهربائية (ملف مثلا) يؤدى توصيله فى الدائرة الى زيادة المفاعلة الحثية للدائرة.

يوضح جدول (21-16) فقد القدرة بالوات(watts) لمفاعلات ذات قلب هواء للحد من التيار (Current Limiting are core reactors) بدلالة مفاعل أحادى الطور مكافئ (equivalent-single phase reactor) يخضع للمعادلة التالية :

$$VA(equiv) = \frac{I^2X}{1000}$$

حيث

I:التيار بوحدة أمبير

X :الممانعة بوحدة أوم

فى حاله توصيل مفاعلات للثلاثة أطوار، تضرب مفقودات الوات فى 3

ملاحظات على جدول (21-16) :

(أ) البيانات فى الجدول لوحدات التركيب داخل مبنى (indoor) و فى حاله التركيبات خارج مبنى (outdoor) ، تضاف للأرقام نسبة 10% زيادة .

(ب) للقدرات غير المذكورة بالجدول يؤخذ متوسط الأرقام بين القيمة الأعلى والقيمه الأقل

(ج) قيم الفقد المذكورة لا تشمل الفقد المتولد من المجالات المغناطيسية المحيطة للمفاعل و الناتجة من مواد مغناطيسية اخرى مثل حوائط او ابواب .

(د) قيمه مقاومة المفاعل بوحدة الاوم تكون حوالى بين $\frac{1}{50}$ الى $\frac{1}{100}$ من قيمه الممانعة (X) بوحدة الاوم

(هـ)القيم المذكورة بالجدول للملفات الألومنيوم ،و هى تقريبا نفس القيم للملفات النحاس

(و) لجميع نسب التحميل، تتغير المفقودات مع مربع KVA و معامل القدرة PF

يوضح جدول (22-16) نسب فقد الطاقة لبعض المفاعلات .

جدول(16-21) فقد القدرة فى مفاعلات الحد من التيار ذي قلب هواء

الفقد (watt)			القدرة المكافئة
15 KV	3 KV	600 V	KVA
445	400	360	5
695	625	565	10
1025	922	830	20
1315	1193	1074	30
1555	1399	1259	40
1775	1597	1437	50
1925	1732	1559	60
2305	2074	1867	80
2625	2362	2126	100
3300	2970	2673	140
4000	3600	3240	200
5100	4590	4131	300
6150	5535	4981	400
7050	6345	5710	500
7900	7110	6399	600
9500	8550	7695	800
10900	9810	8829	1000
12200	10980	9881	1200
13500	12150	10935	1400
14703	13257	11931	1600
15910	14319	12887	1800
17050	15365	13810	2000
18000	16200	14580	2200
19000	17100	15390	2400
20000	18000	16200	2600
21000	18900	17010	2800
22000	14800	17820	3000
24200	21780	19602	3500
26300	23670	21303	4000
28500	25650	23085	4500
30600	27540	24786	5000

تابع جدول (16-21)

6000	27783	30870	34300
7000	30699	34110	37900
8000	33534	37260	41400
9000	36207	40230	44700
10000	38718	43020	47800
12000	43335	48150	53500
14000	47628	32920	58800
15000	49734	55260	61400

Source : Ref . [1]

جدول (16-22) نسبة الفقد لبعض أنواع المفاعلات النموذجية

الجهد (Volt)	المفاعل (Reactor)	نسبة هبوط الجهد %	قاطع تيار زيتي ثلاثي الطور KVA	القدرة المكافئة KVA	الفقد %
480	1000A,0.01	3.61	830	10	0.227
2400	1200A,0.10	8.65	5000	144	0.186
4160	1200A,0.10	5.00	8640	144	0.105
13800	1200A,0.5	7.53	28600	864	0.094

Source : Ref. [1]

خامسا : المحركات (Motors)

توضح الجداول من (16-23) الى (16-29) الكفاءة النموذجية للمحركات عند الحمل المقنن .

وللحصول على فقد القدرة بالمحركات تستخدم المعادلات التالية :

1) $\eta \% = 100 * \left(\frac{output}{input}\right)$

2) Loss % = نسبة الفقد

$= 1 - \eta\%$

3) KW loss = فقد القدرة

$= 0.746 * HP * \left(\frac{Loss\ \%}{\eta\%}\right)$

نقاط هامة :

أ) للمحركات بدون فرش (brushless type motors) للجهود 2300 V & 4000V تخفض نسبة الكفاءة كما فى جدول (16-30)

ب) للمحركات التزامنيه (synchronous motors) التى تعمل عند مقنن الاثاره (rated excitation) وأقل من الحمل الكلى فيجب أن يضبط الفقد بدلالة مفقودات الحمل الكلى كما فى جدول (16-31)

ج) للمحركات التزامنيه ذات الفرش يضاف للفقد مفقودات عضو الاثاره (exciter)

يوضح جدول (16-32) مفقودات مديرات السرعة الاستاتيكيه (Static adjustable speed drives) تيار مستمر (DC) أو تيار متغير (AC) هذه القيم تشمل مفقودات جميع المكونات بداية من قضبان (AC) وخلال مدير السرعة وذلك عند مقنن السرعة والحمل .

ويبين جدول (16-33) مفقودات نظم تتكون من المحول ، مبدل / عاكس (converter / inverter) ، ودوائر تحكم ، مفاعل ومحرك .

جدول (16-23) كفاءة محركات ذات قدرات وسرعات مختلفة

القدرة الحصانيه HP	سرعة التزامن rpm	من النوع الأفقي					
		كفاءة النوع شديد التشغيل			كفاءة النوع صامد التقطير		
		عالى	عادى		عالى	عادى	
		C	B	A	C	B	A
0.5	3600	-	69.0	69.0	-	69.0	69.0
	1800	74.0	69.0	69.0	74.0	69.0	69.0
	1200	75.0	71.0	70.5	75.0	71.0	70.5
	900	-	71.0	62.5	-	71.0	62.2
1	3600	-	80.0	74.5	-	77.0	74.5
	1800	84.0	75.0	75.0	84.0	72.0	75.0
	1200	81.5	79.0	73.0	81.5	77.0	73.0
	900	79.0	70.0	70.0	-	70.0	70.0
1.5	3600	81.5	80.0	-	84.0	79.0	-
	1800	81.5	79.0	-	84.0	77.0	-
	1200	84.0	78.5	-	86.5	75.5	-
2	3600	86.5	86.5	79.0	86.5	81.0	79.0
	1800	84.0	84.0	79.5	84.0	80.0	79.5
	1200	87.5	80.5	78.5	87.5	77.0	78.5
	900	85.5	72.0	70.0	86.5	72.0	70.0
3	3600	86.6	82.5	75.5	86.5	80.0	80.0
	1800	88.5	82.0	80.5	88.5	80.5	80.5
	1200	89.5	81.5	78.0	90.2	81.5	76.0
	900	86.5	74.0	74.0	87.5	74.0	74.0
5	3600	88.5	84.0	80.5	88.5	82.5	83.0
	1800	88.5	84.0	84.0	88.5	82.5	84.0
	1200	89.5	84.0	78.0	90.2	81.5	79.0
	900	89.5	78.5	78.0	90.2	78.5	78.0
7.5	3600	89.5	84.0	79.0	88.5	85.5	84.5
	1800	91.0	84.0	82.5	91.7	84.0	82.0
	1200	90.2	84.0	83.0	91.0	84.0	84.5
	900	89.5	80.0	79.0	90.2	80.0	79.0
10	3600	91.0	86.5	82.5	91.7	86.5	84.5
	1800	91.0	85.5	83.0	91.7	85.5	83.0
	1200	91.0	86.5	82.0	91.7	86.5	84.0
	900	91.0	84.0	80.0	91.7	84.0	81.0

تابع جدول (16-23)

86.0	86.5	91.0	82.0	86.5	91.0	3600	15
86.5	87.5	93.0	86.5	87.5	92.4	1800	
85.0	86.6	92.4	87.0	86.5	91.7	1200	
82.0	85.5	91.7	83.0	85.5	91.0	900	
87.0	86.5	93.0	86.0	86.5	91.7	3600	20
87.5	88.5	93.6	87.5	88.5	93.0	1800	
87.0	88.5	92.4	85.0	88.5	91.7	1200	
85.0	87.5	92.4	85.0	87.5	91.7	900	
-	88.5	93.6	-	89.5	92.4	3600	25
-	89.5	94.1	-	89.5	93.6	1800	
-	89.5	93.6	-	89.5	92.4	1200	
-	87.5	92.4	-	87.5	91.7	900	
87.0	88.5	93.6	86.5	88.5	92.4	3600	30
89.0	89.5	94.1	89.5	90.2	93.6	1800	
88.5	89.5	93.6	89.0	90.2	93.0	1200	
88.0	87.5	98.6	90.0	87.5	93.6	900	
88.0	88.5	93.6	86.5	89.5	93.6	3600	40
88.5	90.2	94.5	90.5	90.2	94.1	1800	
89.0	90.2	94.1	90.0	90.2	93.6	1200	
88.0	89.5	93.6	90.0	89.5	93.0	900	
89.0	89.5	93.0	88.0	90.2	93.0	3600	50
89.5	90.2	94.5	91.5	91.7	94.1	1800	
90.0	90.2	94.1	91.5	91.5	93.6	1200	
89.0	88.5	93.6	90.0	88.5	93.6	900	
-	90.2	93.6	-	90.2	94.1	3600	60
-	91.0	95.4	-	91.7	95.0	1800	
-	90.2	95.0	-	91.7	94.1	1200	
-	91.0	94.1	-	91.0	93.6	900	
90.5	90.2	94.5	90.5	91.7	94.5	3600	75
91.0	91.7	95.4	92.0	91.7	95.4	1800	
91.0	91.7	95.4	92.0	91.7	95.0	1200	
91.0	91.0	94.5	92.0	90.2	94.1	900	
91.5	91.7	94.5	91.5	91.7	94.1	3600	100
92.5	91.7	96.2	93.0	92.4	95.4	1800	
91.5	91.7	95.4	91.5	92.4	95.0	1200	
92.5	91.0	95.0	93.5	91.7	94.1	900	

تابع جدول (23-16)

-	91.7	95.0	-	91.7	94.5	3600	125
-	92.4	95.4	-	92.4	95.4	1800	
-	92.4	95.4	-	93.0	95.0	1200	
-	91.0	95.0	-	92.4	94.5	900	
92.0	91.7	94.5	91.5	91.7	94.5	3600	150
93.0	93.0	96.2	93.0	93.0	95.8	1800	
91.5	92.4	95.8	93.5	93.4	95.8	1200	
92.5	91.0	95.0	92.5	92.4	94.5	900	
91.5	93.0	95.0	92.0	93.0	95.0	3600	200
94.0	93.6	96.2	93.0	94.5	95.8	1800	
93.0	93.0	95.4	93.5	94.5	95.4	1200	
-	93.0	92.4	-	92.4	93.6	900	
-	92.4	95.0	-	93.0	95.4	3600	250
-	93.0	96.2	-	93.6	96.2	1800	
-	93.0	96.2	-	94.5	95.4	1200	
-	93.6	91.3	-	93.4	94.5	900	
92.5	93.0	94.1	93.5	93.0	94.1	3600	300
93.0	92.2	96.2	93.0	91.7	95.8	1800	
-	93.6	94.1	-	93.2	94.1	1200	
-	93.0	94.0	-	92.8	94.0	900	

Source : Ref. [1]

A : محركات أنتجت قبل عام 1980

B : محركات أنتجت بعد عام 1979

C : محركات عالية الكفاءة أنتجت بعد عام 1980

جدول (16-24) كفاءة المحركات قدرات وسرعات مختلفة - رأسي - جهد 640 V

القدرة الحصانية HP	السرعة التزامنية Synchronous Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof Percent Efficiency%		كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%	
		Normal	High	Normal	High
2	3600	–	–	–	–
	1800	–	–	–	–
	1200	80.0	–	80.0	–
	900	74.0	–	74.0	–
3	3600	80.0	–	75.0	–
	1800	81.0	–	76.0	–
	1200	80.0	88.5	80.0	88.5
	900	76.0	–	76.0	–
5	3600	82.0	–	79.0	–
	1800	79.0	–	81.0	–
	1200	81.0	88.5	81.0	88.5
	900	77.0	–	77.0	–
7 1/2	3600	83.0	90.2	80.2	88.5
	1800	81.0	90.2	83.5	90.2
	1200	83.0	89.5	83.0	89.5
	900	83.0	–	82.0	–
10	3600	84.5	90.2	82.5	89.5
	1800	83.0	90.2	86.0	90.2
	1200	85.0	90.2	84.0	90.2
	900	–	–	84.0	–
15	3600	85.0	89.5	79.5	89.5
	1800	84.0	91.7	85.5	91.7
	1200	86.0	91.0	85.5	91.0
	900	84.0	–	84.0	–
20	3600	88.0	91.9	82.0	90.2
	1800	87.0	91.7	86.5	92.4
	1200	87.0	91.7	86.5	91.7
	900	84.0	–	86.0	–
25	3600	87.0	91.7	84.5	91.0
	1800	87.0	92.4	87.0	92.4
	1200	87.0	92.4	87.0	92.4
	900	86.5	91.7	87.0	91.7
30	3600	88.0	92.4	86.0	89.5
	1800	88.0	93.0	88.0	92.4
	1200	88.0	92.4	87.5	92.4
	900	87.0	92.4	87.5	92.4
40	3600	89.0	92.4	86.5	91.0
	1800	89.0	93.0	88.5	93.0
	1200	89.0	92.4	88.0	92.4
	900	87.0	92.4	88.5	92.4

تابع جدول (16-24)

القدرة الحصانية HP	السرعة التزامنية Synchronous Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof Percent Efficiency%		كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%	
		Normal	High	Normal	High
50	3600	89.0	92.4	87.5	91.0
	1800	89.0	93.6	89.0	93.0
	1200	90.0	93.0	88.5	93.0
	900	89.0	93.0	90.5	93.0
60	3600	89.0	92.4	88.5	91.0
	1800	90.5	93.6	89.0	93.0
	1200	90.0	93.0	90.0	93.0
	900	90.0	–	91.0	–
75	3600	89.0	93.0	89.5	91.7
	1800	90.5	94.1	89.5	94.1
	1200	91.5	94.1	91.0	94.1
	900	91.0	94.1	91.0	93.0
100	3600	89.5	93.0	90.5	92.4
	1800	91.0	91.0	92.0	94.1
	1200	91.5	94.1	92.0	94.1
	900	91.0	–	91.0	–
125	3600	91.0	93.0	91.0	92.4
	1800	92.5	94.1	92.0	94.1
	1200	92.0	94.5	92.0	94.1
	900	91.0	93.0	91.5	92.5
150	3600	92.0	93.6	91.0	93.0
	1800	92.5	94.1	92.5	94.5
	1200	92.0	93.0	92.0	94.0
	900	91.5	93.0	92.0	94.0
200	3600	92.5	94.1	91.5	94.5
	1800	92.5	95.0	92.5	–
	1200	92.5	93.5	92.5	–
	900	91.5	–	92.5	–
300	3600	93.5	–	93.5	–
	1800	92.5	–	92.5	–
	1200	91.5	–	93.0	–
	900	92.0	–	93.0	–
500	3600	93.5	–	93.5	–
	1800	92.5	–	93.5	–
	1200	93.0	–	93.5	–
	900	92.5	–	93.5	

Source : Ref. [1]

جدول(16-25) كفاءة محركات رئيسية – جهد 2300V

القدرة الحصانية HP	السرعة التزامنية Synchronous Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof Percent Efficiency%		كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%	
		Normal	High	Normal	High
750	3600	94.2	95.0	–	-
	1800	93.7	94.2	93.0	93.5
	1200	93.5	94.0	93.0	93.5
	900	93.5	94.0	93.0	93.5
1000	3600	94.0	94.7	–	–
	1800	93.7	94.5	93.0	93.5
	1200	93.5	94.5	93.0	94.0
	900	93.5	94.5	93.5	94.2

Source : Ref [1]

جدول (16-26) كفاءة المحركات الكبيرة ، من النوع التأثيرى ، أفقيه جهد 2300 V

القدرة الحصانيه HP	السرعة Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof Percent Efficiency%	كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%
200	3575	93.0	93.0
	1775	93.0	93.0
	1185	91.4	93.0
	885	91.7	93.6
250	3575	93.0	93.0
	1775	93.0	93.0
	1185	93.0	94.1
	885	92.4	94.1
300	3575	93.0	93.0
	1775	92.2	93.6
	1185	93.0	94.5
	885	93.0	94.1
350	3575	93.0	91.0
	1775	92.6	94.1
	1185	93.6	94.5
	885	93.0	92.8
400	3575	93.3	91.7
	1775	93.0	94.5
	1185	93.6	94.5
	885	93.6	93.5
450	3575	93.5	92.4
	1775	93.0	94.5
	1185	93.6	92.6
	885	93.6	92.8
500	3575	94.1	92.4
	1775	93.6	92.8
	1185	93.6	92.8
	885	93.2	93.0
500	3570	93.6	93.1
	1775	93.6	93.1
	1185	94.1	93.1
	885	93.5	93.3
700	3575	94.1	93.4
	1775	94.1	93.3

تابع جدول (16-26)

القدرة الحصانيه HP	السرعة Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof percent Efficiency%	كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%
	1185	93.7	93.3
	885	93.7	93.5
800	3575	94.5	93.6
	1775	94.5	93.5
	1185	93.9	93.5
	885	93.9	93.7
1000	3575	94.8	93.9
	1775	94.3	93.8
	1185	94.2	93.8
	885	91.1	93.9
1250	3575	95.1	94.2
	1775	94.5	94.0
	1185	94.5	94.1
	885	94.4	94.2
1500	3575	94.3	94.6
	1775	94.7	94.3
	1185	94.6	94.3
	890	94.5	94.3
1750	3575	95.5	94.8
	1780	94.9	94.5
	1185	94.8	94.5
	890	94.7	94.6
2000	3575	95.6	94.9
	1780	95.1	94.7
	1185	95.0	94.7
	890	94.9	94.8
2250	3575	95.8	95.1
	1780	95.2	94.8
	1185	95.1	94.8
	890	95.0	94.9
2500	3575	95.9	95.2
	1780	95.3	94.9
	1185	95.2	94.9
	890	95.1	95.0

Source : Ref [1]

جدول (27-16) محركات كبيرة – من النوع التأثيرى – أفقيه – جهد 4000 V

القدرة الحصانيه HP	السرعة Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof Percent Efficiency%	كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%
1000	3575	94.7	94.0
	1775	94.2	93.8
	1185	94.1	93.8
	885	94.0	93.9
1250	3575	95.1	94.4
	1775	94.5	94.0
	1185	94.5	94.1
	885	94.4	94.2
1500	3575	95.3	94.6
	1775	94.7	94.3
	1885	94.6	94.3
	890	94.5	94.4
1750	3575	95.5	94.8
	1780	94.9	94.5
	1185	94.8	94.5
	890	94.7	94.6
2000	3575	95.6	94.9
	1780	95.1	94.7
	1185	95.0	94.7
	890	94.9	94.8
2250	3575	95.8	95.1
	1780	95.2	94.8
	1180	95.1	94.8
	890	95.0	94.9
2500	3575	95.9	95.2
	1780	95.3	94.9
	1185	95.2	94.9
	890	95.1	95.0
3000	3575	95.9	-
	1785	95.4	-
	1185	95.3	-
	890	95.1	-

تابع جدول (16-27)

القدرة الحصانيه HP	السرعة Speed rpm	كفاءة النوع صامد التقطير Dripproof Percent Efficiency%	كفاءة النوع شديد التشغيل TEFC Percent Efficiency%
3500	3575	96.0	95.3
	1785	95.5	95.1
	1185	95.4	95.1
	890	95.4	95.1
4000	3575	96.1	-
	1785	95.6	-
	1185	95.1	-
	890	95.3	-
4500	3575	96.1	95.4
	1785	95.7	95.4
	1185	95.5	95.2
	890	95.4	95.8
5000	3575	96.2	-
	1775	95.7	-
	1185	95.6	-
	885	95.4	-
6000	3575	96.3	-
	1185	95.8	-
	1185	95.7	-
	885	95.7	-
8000	3575	96.6	-
	1780	95.9	-
	1185	95.8	-
	885	95.8	-
10000	-	-	-
	1785	95.9	-
	1185	95.9	-
	885	95.9	-
12000	-	-	-
	1780	96.3	-
	1185	96.2	-
	885	96.1	-

جدول(16-28) محركات كبيرة -تزامنية- من النوع ذى الفرش -أفقية- جهد 2300V

القدرة الحصانية HP	السرعة التزامنية Synchronous Speed rpm	الكفاءة % Percent Efficiency	
		PF 1.0	PF 0.8
500	1800	95.3	94.1
	1200	95.2	94.0
	900	95.3	93.8
	720	95.1	93.4
600	1800	95.5	94.4
	1200	95.5	94.4
	900	95.6	94.2
	720	95.3	93.9
700	1800	95.6	94.6
	1200	95.7	94.6
	900	95.8	94.5
	720	95.6	94.2
800	1800	95.7	94.7
	1200	95.8	94.8
	900	96.0	94.8
	720	95.8	94.5
900	1800	95.9	94.9
	1200	95.9	94.9
	900	96.1	95.0
	720	95.9	94.8
1000	1800	95.9	95.0
	1200	96.0	95.0
	900	96.2	95.1
	720	96.1	95.0
1250	1800	96.1	95.1
	1200	96.2	95.2
	900	96.4	95.3
	720	96.4	95.2
1500	1800	96.3	95.3
	1200	96.4	95.4
	900	96.6	95.5
	720	96.6	95.4
1750	1800	96.4	95.5
	1200	96.5	95.6
	900	96.7	95.7
	720	96.7	95.6
2000	1800	96.6	95.6
	1200	96.7	95.7

تابع جدول (28-16)

	900	96.9	95.8
	720	96.9	95.8
2250	1800	96.6	95.7
	1200	96.7	95.8
	900	96.9	95.9
	720	96.9	95.9
2500	1800	96.6	95.8
	1200	96.7	95.9
	900	97.0	96.0
	720	97.0	96.0

Source : Ref [1]

جدول(16-29) محركات كبيرة -تزامنية- من النوع ذى الفرش -أفقية- جهد 4000V

القدرة الحصانية	السرعة التزامنية	الكفاءة %	
HP	rpm	PF 1.0	PF 0.8
3000	1800	96.8	95.9
	1200	96.9	96.1
	900	97.0	96.2
	720	97.0	96.2
3500	1800	96.8	96.1
	1200	97.0	96.2
	900	97.1	96.4
	720	97.1	96.4
4000	1800	96.9	96.2
	1200	96.7	96.4
	900	96.2	96.5
	720	96.2	96.5
4500	1800	97.0	—
	1200	97.1	96.5
	900	97.3	96.6
	720	97.3	96.6
5000	1800	97.0	—
	1200	97.1	96.5
	900	97.4	96.7
	720	97.4	96.7
5500	1800	97.0	—
	1200	97.1	96.6
	900	97.4	96.8
	720	97.4	96.8
6000	1200	97.2	96.7
	900	97.5	96.9
	720	97.5	96.9
	600	97.4	96.9
7000	1200	97.3	96.8
	900	97.6	97.0
	720	97.6	97.0
	600	97.4	97.0
8000	1200	97.4	96.9
	900	97.6	97.0
	720	97.6	97.0
	600	97.5	97.0
9000	1200	97.4	96.9
	900	97.7	97.0
	720	97.7	97.0
	600	97.7	97.1
10000	1200	97.5	97.0
	900	97.7	97.0
	720	97.7	97.0
	600	97.7	97.1

Source : Ref. [1]

جدول(16-30)

الكفاءة عند الحمل الكامل	التخفيض المطلوب	
	عند الحمل الكامل	عند $\frac{3}{4}$ الحمل
Over 97.0	0.1	0.2
96.1-97.0	0.2	0.2
95.1-96.0	0.2	0.3
94.1-95.0	0.3	0.4
93.1-94.0	0.3	0.4
92.1-93.0	0.5	0.6
91.1-92.0	0.6	0.8

Source : Ref [1]

جدول(16-31)

معامل القدرة PF	التحميل Load	المفقودات (نسبة مفقودات الحمل الكامل) Losses (Percent Full Load Losses)
1.0	3/4	85
	1/2	75
	1/4	69
	0	67
0.8	3/4	94
	1/2	90
	1/4	88
	0	87

Source : Ref [1]

جدول(16-32) مفقودات مديرات السرعة المتغيرة

القدرة الحصانية HP	السرعة Speed rpm	الكفاءة Efficiency %	الفقد Loss%
50	1800	89.3	12.0
100	1800	90.3	10.7
300	1800	91.0	9 .9
600	1200	91.9	8.8

جدول(16-33) مفقودات نظم تحتوى على مديرات السرعة

القدرة الحصانية HP	السرعة Synchronous Speed rpm	الكفاءة Percent Efficiency %	الفقد Percent Loss%
1000	1200	93.0	7.0
1500	900	93.0	7.0
2000	900	93.5	6.5
3000	900	93.0	7.0
4000	900	94.0	6.0
5000	900	94.5	5.5

سادسا : مفاتيح الجهد المنخفض(Low- voltage switchgear)

يوضح جدول (16-34) المفقودات الكلية النموذجية لمفاتيح الجهد المنخفض ذات قدرات مختلفة للتركيب داخل مبنى (indoor) .

ويوضح جدول (16-35) مفقودات قضبان القدرة (الومنيوم أو نحاس) للتركيبات داخل مبنى . وتكون المفقودات الكلية هى مجموع فقد مفتاح الجهد المنخفض وفقد القضبان فى حالة التركيب خارج مبنى (outdoor) يضاف للفقد الكلى فقد السخانات (heaters) والذى يساوى تقريبا 250 وات لكل وحده .

يراعى أن المفقودات تتغير مع مربع تيار المغذى مضافا لها المفقودات المحددة لقضبان القدرة .

يبين البيان التالي نسبة الفقد لخلية توزيع جهد منخفض تحتوى على أربعة مفاتيح 600A بملف فصل 400A عند معامل قدرة الحمل 0.9 ومقنن القضبان 300A للجهود المختلفة :

240 V	0.34 %
480 V	0.17 %
600 V	0.13 %

جدول (16-34) فقد مفاتيح الجهد المنخفض – ثلاثية الطور

أحجام نطاق المفاتيح (Breaker frame sizes) Amp	ملف الفصل (Trip coil) Amp	الفقد watt
225	15	55
	20	55
	30	65
	40	60
225 & 600	50	60
	70	70
	90	70
	100	65
	125	105
	150	80
	175	110
	200	105&110
	225	140
600	250	95
	300	119
	350	150
	400	165
	500	225
	600	215

تابع جدول (34-16)

60	200	1600
75	225	
55	250	
40	300	
55	350	
60	400	
90	500	
120	600	
195	800	
180	1000	
260	1200	
460	1600	
480	2000	3000
750	2500	
1080	3000	
-	2000	4000
-	2500	
-	3000	
-	4000	

Source : Ref .[1]

جدول (35-16) مفقودات القضبان ، ألومنيوم أو نحاس

حجم المعدة	مقنن القضبان الرئيسية (Amp)	الفقد watt
20-or 22- in stack	1600	570
	3000	1350
27-in stack	1600	645
	3000	1500
30-in stack	3000	1700
	4000	2100

سابعا : مسار القضبان (Busway)

يوضح جدول (36-16) فقد القدرة للثلاثة أطوار عند الحمل الكامل لكل قدم ويراعى أن المفقودات تتغير مع مربع الحمل .

وتكون نسبة المفقودات لمسار قضبان بطول 50 ft ومعامل قدرة الحمل يساوى الواحد كما في جدول (37-16) تبعا لنوع الموصل وجهد التشغيل .

جدول (16-36) فقد القدرة عند الحمل لمسار قضبان ثلاثية الطور لكل قدم

مقنن الحمل Ampere Rating	مفقودات (watt)		النوع
	نحاس (copper)	ألومنيوم (Aluminum)	
600	29	36	من النوع ذي الدرع المغطى Armour- clad
800	39	42	
1000	40	50	
1200	43	57	
1350	52	60	
1600	65	78	
2000	82	94	
2500	96	103	
3000	111	132	
4000	144	173	
5000	173	-	
1000	53	66	من نوع الحد من التيار current limiting
1350	73	109	
1600	93	114	
2000	108	134	
2500	131	169	
3000	157	208	
4000	197	283	

Source : Ref [1]

جدول (16-37) نسبة المفقودات لمسار القضبان بطول **1.0 PF & 50 ft**

مقنن التيار (Amp)	الجهد (Volt)	نوع الموصل	نسبة الفقد %
600	208	الومنيوم / مغطى بالدرع	0.84%
600	480	الومنيوم / مغطى بالدرع	0.36%
5000	480	الومنيوم / مغطى بالدرع	0.21%
1600	480	نحاس / محدد للتيار	0.35%

Source : Ref. [1]

الباب السابع عشر

العناصر الرئيسية للفقد غير الفنى

A major Component of non-technical losses

مقدمة:

إن سرقة الكهرباء جريمة فى حق الجميع.. من حيث التكاليف والأمان.

يتلاعب بعض المستهلكين فى التوصيلات الخاصة بدخول الكهرباء أو بالعدادات وتوصيلاتها وذلك حتى يمتنعوا عن سداد قيمة الاستهلاك أو تخفيضها. ويظهر ذلك فى صورة مفقودات طاقة بشبكات مرافق الكهرباء.

ليست المشكلة فقط فى ارتفاع نسبة المفقودات ولكن التلاعب فى التوصيلات والعدادات يمكن أن يؤدى إلى مشاكل خطيرة مثل حدوث حرائق تؤذى الأشخاص ويمكن أن تسبب الوفاه. تحدث هذه المخاطر لكل من الأشخاص المتلاعبين والأشخاص القريبين من هذه الأحداث.

أساسا تحدث سرقات الكهرباء (أو التلاعب فى العدادات والأسلاك الخاصة بها) عن طريق تصنيفين من الأشخاص:

- أشخاص غير مشتركين (Non-consumers)

وهم الأشخاص الذين ليس لديهم عدادات طاقة كهربائية ولم تدخل الكهرباء لديهم بالطرق المشروعة.

- أشخاص مشتركين حقيقيين (Bonafide consumers)

وهم الأشخاص الذين لديهم عدادات طاقة كهربائية وادخلت الكهرباء لديهم بالطرق المشروعة. وهؤلاء الأشخاص يستخدمون طرق غير مشروعة متعددة للحصول على الكهرباء مثل :

- التلاعب بأطراف التغذية الكهربائية.
- استخدام توصيلة فرعية من خطوط التغذية الكهربائية.
- تعمد إحراق عدادات الطاقة.

- تغذية توسعات للأحمال بدون إبلاغ مرفق الكهرباء.
- تغذية الأحمال بدون المرور على العداد.

خلفية عن سرقات الكهرباء(Background of electricity theft)

من الصعب – أو من المستحيل – استخدام بيانات مجمعه بمعرفة شركات المرافق، توزيع الكهرباء، للكشف عن أو لتحديد المفقودات غير الفنية.

فى بعض المناطق، والتى لا تسجل الأحمال من خلال العدادات أو أن تكون من خلال عدادات جماعية أو مشتركة، فإنه لا يمكن عمل حسابات لأية مفقودات – سواء الفنية أو غير الفنية – لعدم جدواها. الطريقة المستخدمة لجميع شركات المرافق تستلزم تجهيز مجموعة للعمل فى المواقع لتسجيل ومراقبة العدادات دوريا عند نقاط المداخل بانتظام.

من أسباب الاهتمام بالكشف عن العدادات انها الطريقة الرئيسية لتحديد الفقد غير الفني لأن مرافق الكهرباء تعتبر سرقة الكهرباء (electricity theft) هى اكثر مصادر الفقد غير الفني، وتحدث أكثر سرقات الكهرباء من خلال التلاعب بالعداد (meter tampering) أو تخريب العداد (meter destruction).

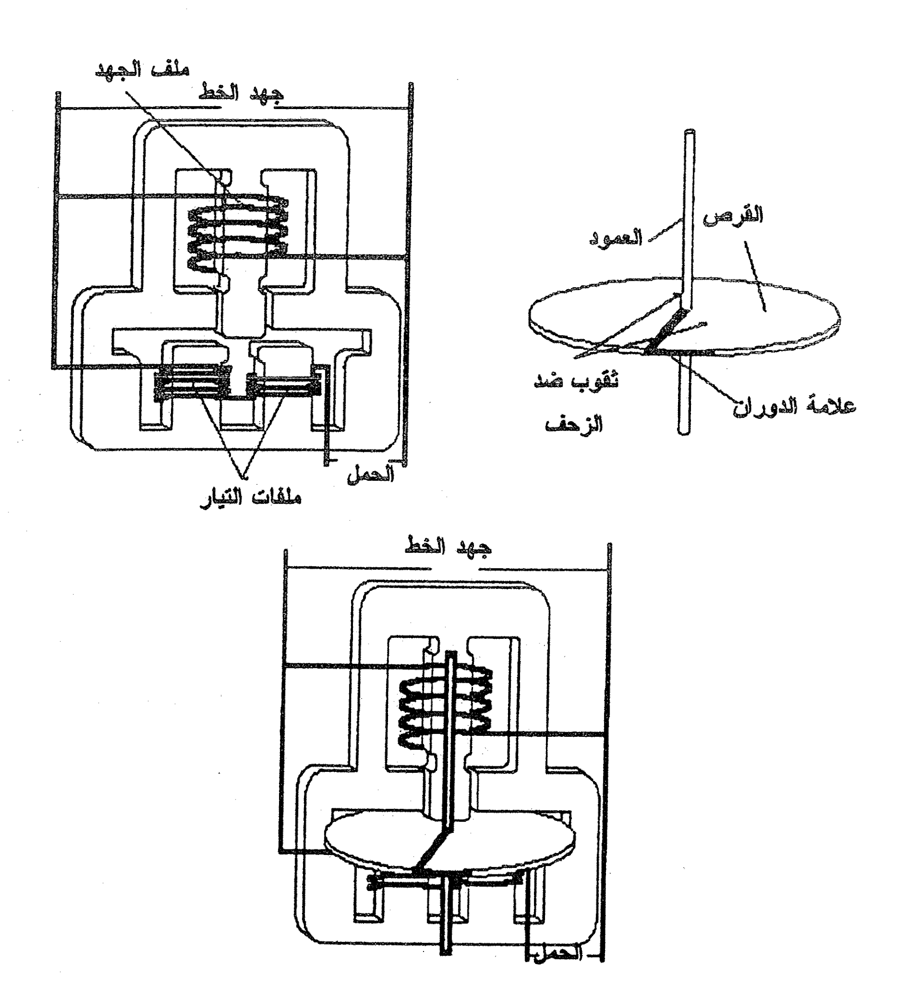
لم تتغير أساسيات تشغيل عدادات الطاقة (وات-ساعة) (watt-hour meters) منذ اختراعها فى 1890s & 1880s

أول عداد طاقة أحادى الطور استخدم تجاريا عام 1894، وكانت مكوناته الرئيسية كالآتي:

- يوجد ملفين لانتاج الفيض الكهرومغناطيسى (electromagnetic flux) ملف ينتج فيض يتناسب مع الجهد وملف ينتج فيض يتناسب مع التيار.

يخلق الناتج النهائى لفيض ملف التيار وفيض ملف الجهد قوة تتناسب مع الحمل (load power). يوضح شكل (1-17) المكونات الأساسية لعداد الطاقة.

كان لتطور هذه العدادات وتحسين تكنولوجيات التصنيع والتصميمات المرادفة الاثر على نمو صناعة الكهرباء فى أواخر القرن التاسع عشر.



شكل (1-17) المكونات الأساسية لعدادات الطاقة

يوضـــح شكل (17-2) بعض التصميمات الأولية لعدادات الطاقة، وكانت العدادات بدون غطاء وجميع أجزائها مكشوفة ومن السهوله لأى شخص التلاعب بها.

وعلي ذلك منذ عام 1899 اهتمت شركات المرافق بسرقات الكهرباء..

واهتمت بتلافي الملاحظات الآتية:

- استخدام غطاء للعداد لتجنب الأتربة ومنع الحشرات..
- يجب احكام الغطاء مع جسم العداد لتجنب التلاعب الفضولي
- يجـــب الحمايـــة الكاملة من التلاعب سيئ القصد بالمسامير والتى يمكن أن تؤدى إلى انحناء بمغناطيس الإخماد (damping magnets)

يوضح شكل (17-3) بعض أنواع العدادات الحديثة والتى راعى فيها تلافى الملاحظات المذكورة أعلاه من حيث وجود غطاء محكم والذى يساعد فى كشف التلاعب.. وخفض سرقات الكهرباء إلا فى حاله التلاعب فى الأجزاء الميكانيكية الداخلية عن طريق عمل ثقب صغير جدا بواسطة مثقاب.

طرق سرقة الكهرباء Methods of Electricity Theft

تصنف الطرق الأساسية لسرقه الكهرباء إلى:

- التوصيل المباشر، لاحمال غير مسجله، من الشبكه الكهربائية.
- التلاعب بعدادات تسجيل الأحمال الكهربائية.

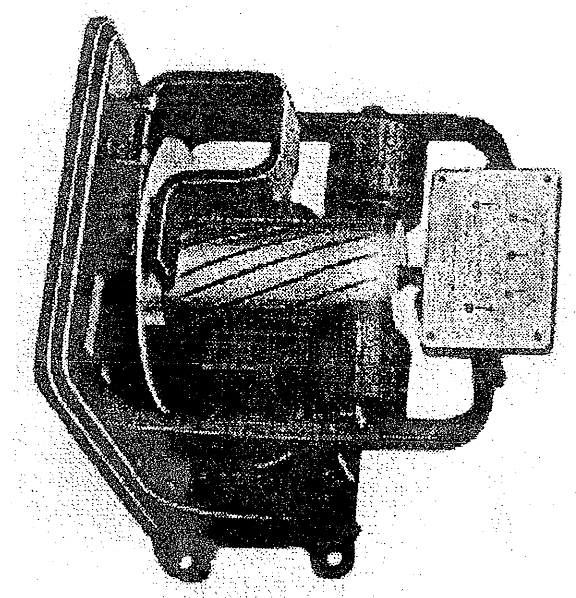
وذلك بغرض تخفيض فاتورة الكهرباء، إذا أمكن فتح العداد عندئذ يمكن التلاعب وعمل أشياء متعددة سواء تبطئة العداد أو إيقافه.

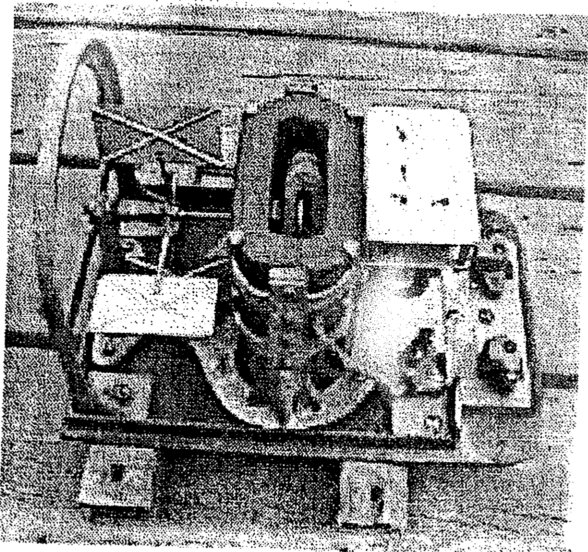
تصنف طرق التلاعب كالآتى:

أ- تلاعب فى الدوائر الكهربائية للعداد
- تلاعب داخل العداد
- تلاعب خارج العداد

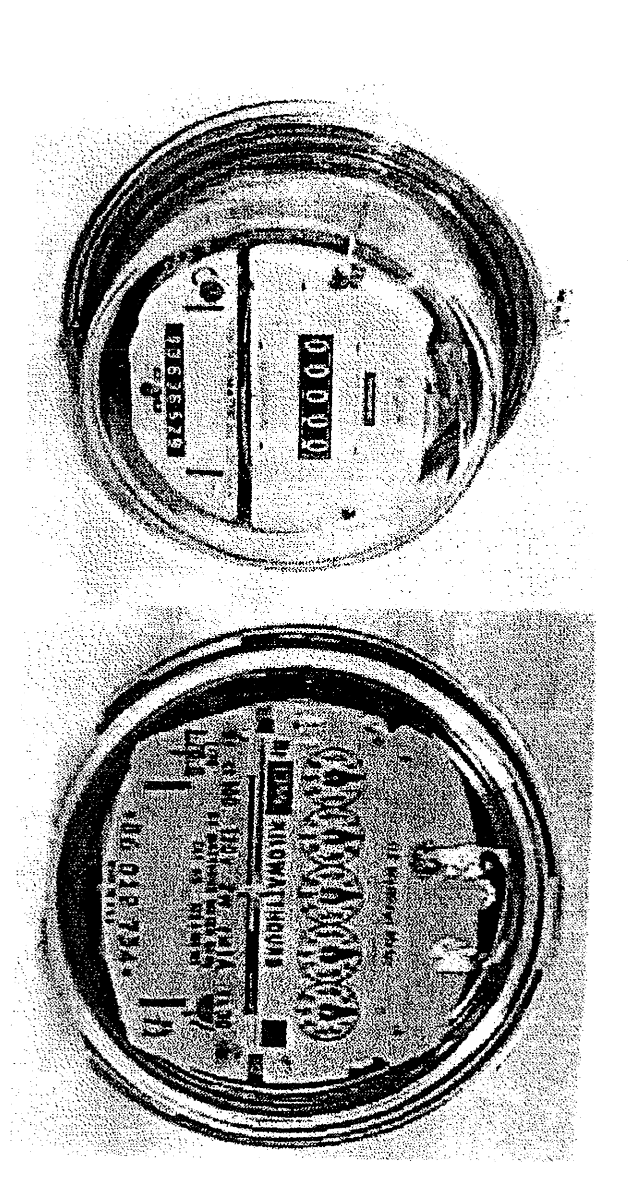
ب- التلاعب فى الأجزاء الميكانيكية داخل العداد

جـ التلاعب فى البيانات المدونة





شكل (2-17) بعض أنواع العدادات في أول انتاجها (1888 - 1901)



شكل (3-17) بعض انواع العدادات حديثة الانتاج

وفيما يلى عرض لأنواع التلاعب المختلفة

أنواع التلاعب فى عدادات الطاقة

اولا: أنواع التلاعب فى الدوائر الكهربائية للعداد

الدوائر الكهربائية للعداد هي:

- الدوائر الثانـــوية لمحولات التيار والجهد
- التوصيلات المباشرة للعداد
- ملفات التيار والجهد وتوصيلات الساعة داخل العداد

من أنواع التلاعب فى هذه الدوائر:

أ ــ تلاعبات داخل العداد

1- فـــك الكوبري بين ملف التيار وملف الجهد مما يؤدى إلى عدم تغذيه ملف الجهد وتوقف العداد.

2- التلاعب فى توصيلات الساعة مما يؤدى إلى التسجيل الخاطئ بالمؤشر.

3- تقليل عدد لفات ملف التيار الخاص بالعداد مما يؤدى إلى إبطاء سرعة القرص (الأسطوانة).

4 - إبدال الأطراف الخاصة بملفات جهد العداد من الداخل.

ب ــ تلاعبات خارج العداد

5- إبدال أطراف الجهد الخاصة بالعداد من الخارج مع عكس أطراف أحد محولات التيار.

6- استبدال أطراف الجهد الخاصة بالعداد من الخارج يؤدى إلى توقف دوران العداد فى حاله أتزان الأحمال.

7- عمل قصر (كوبري) على الأطراف الثانوية لمحول التيار الداخل للعداد أو عمل قصر على دخول أو خروج ملف التيار فى عدادات التوصيل المباشر من خلال أطراف التوصيل (الروزتة).

8- قطع أطراف الجهد المغذية للعداد.

9- قطع أطراف التيار المغذية للعداد.

10- عكس اتجاهات الكابل الداخل للعداد (دخول – خروج).

11- توصيل محول التيار عكس العداد يمكن أن يسجل $\frac{1}{3}$ الاستهلاك.

12- توصيل محولي التيار عكس العداد، يؤدى الى الدوران العكسي.

يوضح جدول(1-17) توزيع التلاعبات فى الدوائر الكهربائية (عدد 12 تلاعب) المذكورة أعلاه تبعا لنظام توصيل العداد ونوعه.

جدول (1-17) أنواع التلاعب فى الدوائر الكهربائية لعدادات الطاقة الفعالة

نوع التلاعب	جهد منخفض توصيل مباشر		جهد منخفض توصيل من خلال محولات تيار		جهد متوسط من خلال محولات تيار ومحولات جهد	
	220 فولت	3x380 فولت 4 سلك	220 فولت	3x380 فولت 4 سلك	3 سلك	4 سلك
تلاعب رقم (1)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (2)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (3)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (4)	√	√				
تلاعب رقم (5)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (6)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (7)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (8)	√	√	√	√	√	√
تلاعب رقم (9)			√	√	√	√
تلاعب رقم (10)	√	√				
تلاعب رقم (11)				√	√	√
تلاعب رقم (12)				√	√	√

ثانيا: أنواع التلاعب فى الاجزاء الميكانيكية داخل العداد

من الاجزاء الميكانيكية القابلة للتلاعب هى: التروس- القرص- مؤشر اقصى حمل- المسجل- محور الاسطوانة (القرص)

من أنواع التلاعب فى هذه الأجزاء:

1- كسر أحد أسنان الترس الاول.

2- تغيير ضبط تعشيق الترس الاول بالمسجل مع الحلزونة.

3- احتكاك الاسطوانة بالمغناطيس نتيجة اعوجاج الاسطوانة.

4- التلاعب فى احكام ربط صامولة المحور السفلى بالمحور العلوى مما يؤدى إلى عدم انتظام دوران الاسطوانة لاصطدامها بالمغناطيس.

5- تلف ميكانيكى بمؤشر أقصى حمل مما يؤدى إلى عدم فصله كل 15 دقيقة.

6- فصل مسجل قراءة العداد عن حركة دوران محور اسطوانة العداد مما يؤدى إلى عدم تسجيل أية قراءات على الرغم من دوران الاسطوانة.

7- وضع أجزاء معدنية أو غير معدنية (مثل الرابش) على اسطوانة العداد مما يسبب توقف دوران الاسطوانة لوجود أجزاء محشورة بين الاسطوانة وملفات العداد أو مغناطيس العداد.

8- وضع أجزاء معدنية داخل العداد وخاصة فى مغناطيس العداد مما يسبب ابطاء سرعة دوران الاسطوانة نتيجة الاحتكاك بين الاسطوانة وهذه الاجزاء المعدنية.

9- تغيير أجزاء من تروس مسجل قراءات العداد مما يغير نسبة تحويل تلك التروس (كلما زادت تلك النسبة كلما انخفض الاستهلاك).

10- تغير مسجل قراءات العداد بآخر تختلف نسبة تحويلاته مما يجعل الاستهلاك المسجل أقل من الاستهلاك الفعلى.

11- توسيع مجالات العداد وذلك بزيادة المسافة البينيه بين ملفات التيار والجهد وبين الاسطوانة مما يؤدى إلى تخفيض سرعة القرص (الاسطوانة).

ثالثا: أنواع التلاعب فى البيانات المدونة

فيما يلى بعض أنواع هذا التلاعب

1- استرجاع قراءات مسجل القراءات.

2- اسـتبدال بيانات العداد ببيانات اخرى غير البيانات الفعلية (مثل ثابت عدد لفات العداد أو الامبير أو الفولت).

3- استبدال بيانات محولات التيار أو محولات الجهد المستخدمة ببيانات أخرى غير البيانات الفعلية (مثلا تغير نسبة التحويل للمحولات).

4- تزويـر أختام غطاء وجه العداد حيث يتم فتحه والتلاعب داخله ثم إعادة ختمه بالأختام المزورة.

5- تعمد القراءة الخاطئة للاستهلاك أو عند تدوينها.

التوصيلات الخاطئة والقدرة المقاسة

يوضـح جدول (17-2) عدد 20 توصيلة خاطئة لعدادات الطاقة الفعالة وغير الفعالة – ثلاثـية الطور – ثلاثة عناصر – أربعة أسلاك... والقدرة المقاسة منسوبة إلى القدرة الحقيقية وذلك لكل حالة توصيل.

يوضـح جدول (17-3) عدد 17 توصيلة خاطئة لعدادات الطاقة الفعالة وغير الفعالة – ثلاثـية الطـور – عنصـرين – ثلاثـة أسلاك... والقدرة المقاسة منسوبة إلى القدرة الحقيقية وذلك لكل حالة توصيل.

يلخـص جـدول (17-4) القدرة المقاسة (فى حالة التوصيلات الخاطئة) منسوبة إلى القدرة الحقيقية (فى حالة ما إذا كانت التوصيلات سليمة).

جدول (17 - 2) القدره المقاسه من خلال عدادات ذات توصيلات خاطئه ومقارنتها بالقدره المقاسه فى حالة التوصيلات السليمه
(عدادات الطاقه الفعاله وغير الفعاله – ثلاثة عناصر – اربعة اسلاك)

مسلسل	الحاله	عداد الطاقه الفعاله (V , I فى اتجاه طورى واحد)	عداد الطاقه غير الفعاله 90^o توصيل متعامد (V , I فى اتجاه طورى واحد)
1	التوصيلات سليمه لعداد الطاقه الفعاله $V_a , I_a \longrightarrow P_a = V_a I_a \cos \Phi_a$ $V_b , I_b \longrightarrow P_b = V_b I_b \cos \Phi_b$ $V_c , I_c \longrightarrow P_c = V_c I_c \cos \Phi_c$ $P = P_a + P_b + P_c$ شكل (17 – 4)	V_a, I_a, I_c, V_c, I_b, V_b $P = 3 I V_\lambda \cos \Phi$	
2	التوصيلات سليمه لعداد الطاقه غير الفعاله $V_{bc} , I_a \longrightarrow Q_a = I_a V_{bc} \cos (90 - \Phi)$ $V_{ca} , I_b \longrightarrow Q_b = I_b V_{ca} \cos (90 - \Phi)$ $V_{ab} , I_c \longrightarrow Q_c = I_c V_{ab} \cos (90 - \Phi)$ $\cos (90 - \Phi) = \sin \Phi$ $Q = Q_a + Q_b + Q_c$ شكل (17 – 5)		V_{ab}, I_a, V_{bc}, I_c, I_b (القياس الفعلى) $Q = 3 I V_\Delta \sin \Phi$ (القدره فى حالة شبكه رباعية الأسلاك) $Q = 3 I V_Y \sin \Phi$

		Pf	Qf
3	دائرة جهد الطور (a) مفتوحه $V_a = 0$ $0, I_a \rightarrow P_a$ $V_b, I_b \rightarrow P_b$ $V_c, I_c \rightarrow P_c$ $V_{bc}, I_a \rightarrow Q_a$ $V_{cb}/2, I_b \rightarrow Q_b$ $V_{cb}/2, I_c \rightarrow Q_c$ شكل (6 – 17)	$P_f = 2\,I\,V_\lambda \cos\Phi$ $\frac{P_f}{P} = \frac{2}{3}$ $P_f = \frac{2}{3}P$	$Q_f = I\,V_\Delta[\cos(\Phi - 90) + 1/2\cos(\Phi - 30)]$ $= 3/2\,I\,V_\Delta \sin\Phi$ $\frac{Q_f}{Q} = \frac{3}{2}/3$ $Q_f = \frac{1}{2}Q$
4	دائرة جهد الطور (b) مفتوحه $V_b = 0$	$P_f = 2\,I\,V_\lambda \cos\Phi$ $P_f = \frac{2}{3}P$	$Q_f = I\,V_\Delta[1/2\cos(\Phi - 30) + \cos(\Phi - 30) + 1/2\cos(\Phi - 150)]$ $Q_f = 3/2\,I\,V_\Delta \sin\Phi$ $Q_f = \frac{1}{2}Q$
5	دائرة جهد الطور (c) مفتوحه $V_c = 0$	$P_f = 2\,I\,V\lambda \cos\Phi$ $P_f = \frac{2}{3}P$	$Q_f = I\,V_\Delta[(1/2\cos(\Phi - 150) + 1/2\cos(\Phi - 30) + \cos(\Phi - 90)]$ $Q_f = 3/2\,I\,V_\Delta \sin\Phi$ $Q_f = \frac{1}{2}Q$

P = Nominal power with correct circuit = القدره الاسميه فى حالة جميع التوصيلات سليمه

P_f = Actual power with faulty circuit = القدره الفعليه فى حالة وجود توصيلات خاطئه

Q = القدره غير الفعاله الاسميه فى حالة جميع التوصيلات سليمه

Q_f = القدره غير الفعاله فى حالة وجود توصيلات غير سليمه

6	دائرة تيار الطور (a) مفتوحه $I_a = 0$ $V_a, 0 \longrightarrow P_a$ $V_b, I_b \longrightarrow P_b$ $V_c, I_c \longrightarrow P_c$ $V_{bc}, 0 \longrightarrow Q_a$ $V_{ca}, I_b \longrightarrow Q_b$ $V_{ab}, I_c \longrightarrow Q_c$ شكل (7 – 17)	V_a, I_c, V_c, I_b, V_b $P_f = 2\,I\,V_\lambda \cos\Phi$ $\frac{Pf}{P} = \frac{2}{3}$ $Pf = \frac{2}{3}P$	V_{ab}, V_{bc}, I_c, I_b, V_{ca} $Q_f = 2\,I\,V_\Delta \sin\Phi$ $\frac{Qf}{Q} = \frac{2}{3}$ $Qf = \frac{2}{3}Q$
7	دائرة تيار الطور (b) مفتوحه $I_b = 0$	$P_f = 2\,I\,V_\lambda \cos\Phi$ $Pf = \frac{2}{3}P$	$Q_f = 2\,I\,V_\Delta \sin\Phi$ $Qf = \frac{2}{3}Q$
8	دائرة تيار الطور (c) مفتوحه $I_c = 0$	$P_f = 2\,I\,V_\lambda \cos\Phi$ $Pf = \frac{2}{3}P$	$Q_f = 2\,I\,V_\Delta \sin\Phi$ $Qf = \frac{2}{3}Q$

م	الحالة	القدرة الفعالة	القدرة غير الفعالة
9	عكس قطبية التيار للطور (a) $-I_a$ $V_a,(-I_a) \rightarrow P_a$ $V_b, I_b \rightarrow P_b$ $V_c, I_c \rightarrow P_c$ $V_{bc},(-I_a) \rightarrow Q_a$ $V_{ca}, I_b \rightarrow Q_b$ $V_{ab}, I_c \quad Q_c$ شكل (8 – 17)	$P_f = I\,V_\lambda \cos\Phi$ $\frac{P_f}{P} = \frac{1}{3}$ $P_f = \frac{1}{3}P$	$Q_f = I\,V_\Delta \sin\Phi$ $\frac{Q_f}{Q} = \frac{1}{3}$ $Q_f = \frac{1}{3}Q$
10	عكس قطبية التيار للطور (b) $-I_b$	$P_f = I\,V_\lambda \cos\Phi$ $P_f = \frac{1}{3}P$	$Q_f = I\,V_\Delta \sin\Phi$ $Q_f = \frac{1}{3}Q$
11	عكس قطبية التيار للطور (c) $-I_c$	$P_f = I\,V_\lambda \cos\Phi$ $P_f = \frac{1}{3}P$	$Q_f = I\,V_\Delta \sin\Phi$ $Q_f = \frac{1}{3}Q$

12	عكس قطبية الجهد للطور (a) (فى حالة استخدام محولات جهد فقط) $-V_a$ $-V_a, I_a \longrightarrow P_a$ $V_b, I_b \longrightarrow P_b$ $V_c, I_c \longrightarrow P_c$ $V_a, I_a \longrightarrow Q_a$ $-V_b, I_b \longrightarrow Q_b$ $V_c, I_c \longrightarrow Q_c$ شكل (9 – 17)	$P_f = I\, V_\lambda \cos \Phi$ $P_f = \frac{1}{3} P$	$Q_f = I\, V_\Delta \sin \Phi$ $Q_f = \frac{1}{3} Q$
13	عكس قطبية الجهد للطور (b) $-V_b$ $V_a, I_a \longrightarrow P_a$ $V_a, I_a \longrightarrow Q_a$ $-V_b, I_b \longrightarrow P_b$ $V_{ca}, I_b \longrightarrow Q_b$ $V_c, I_c \longrightarrow P_c$ $-V_c, I_c \longrightarrow Q_c$	$P_f = I\, V_\lambda \cos \Phi$ $P_f = \frac{1}{3} P$	$Q_f = I\, V_\Delta \sin \Phi$ $Q_f = \frac{1}{3} Q$
14	عكس قطبية الجهد للطور (c) $-V_c$ $V_a, I_a \longrightarrow P_a$ $-V_a, I_a \longrightarrow Q_a$ $V_b, I_b \longrightarrow P_b$ $V_b, I_b \longrightarrow Q_b$ $-V_c, I_c \longrightarrow P_c$ $V_{ab}, I_c \longrightarrow Q_c$	$P_f = I\, V_\lambda \cos \Phi$ $P_f = \frac{1}{3} P$	$Q_f = I\, V_\Delta \sin \Phi$ $Q_f = \frac{1}{3} Q$

15	تبديل طرفى الجهد b & a $V_b, I_a \rightarrow P_a$ $V_a, I_b \rightarrow P_b$ $V_c, I_c \rightarrow P_c$ $V_{ac}, I_a \rightarrow Q_a$ $V_{cb}, I_b \rightarrow Q_b$ $V_{ba}, I_c \rightarrow Q_c$ شكل (10 – 17)	$P_f = IV_\lambda [\cos(\Phi - 120) + \cos(\Phi + 120) + \cos\Phi] = 0.0$	$Q_f = IV_\Delta [\cos(\Phi - 30) + \cos(\Phi - 150) + \cos(\Phi + 30)] = 0.0$
16	تبديل طرفى الجهد a & c $V_c, I_a \rightarrow P_a$ $V_{ba}, I_a \rightarrow Q_a$ $V_b, I_b \rightarrow P_b$ $V_{ac}, I_b \rightarrow Q_b$ $V_a, I_c \rightarrow P_c$ $V_{cb}, I_c \rightarrow Q_c$	$P_f = I V_\lambda [\cos(\Phi + 120) + \cos\Phi + \cos(\Phi - 120)] = 0.0$	$Q_f = I V_\Delta [\cos(\Phi - 150) + \cos(\Phi + 90) + \cos(\Phi - 30)] = 0.0$
17	تبديل طرفى الجهد c & b $V_a, I_a \rightarrow P_a$ $V_{cb}, I_a \rightarrow Q_a$ $V_c, I_b \rightarrow P_b$ $V_{ba}, I_b \rightarrow Q_b$ $V_b, I_c \rightarrow P_c$ $V_{ac}, I_c \rightarrow Q_c$	$P_f = I V_\lambda [\cos\Phi + \cos(\Phi - 120) + \cos(\Phi + 120)] = 0.0$	$Q_f = I V_\Delta [\cos(\Phi + 30) + \cos(\Phi - 30) + \cos(\Phi - 150)] = 0.0$

18	تبديل اطراف محول التيار a & b $V_a , I_b \longrightarrow P_a$ $V_b , I_a \longrightarrow P_b$ $V_c , I_c \longrightarrow P_c$ $V_{bc} , I_b \longrightarrow Q_a$ $V_{ca} , I_a \longrightarrow Q_b$ $V_{ab} , I_c \longrightarrow Q_c$ شكل (11 – 17)	V_a I_a I_c I_b V_c V_b $P_f = IV_\lambda [\cos(\Phi + 120) + \cos(\Phi - 120) + \cos\Phi]$ $= 0.0$	V_{ab} I_a V_{bc} I_c I_b V_{ca} $Q_f = IV_\Delta [\cos(\Phi + 30) + \cos(\Phi + 150) + \cos(\Phi - 30)]$ $= 0.0$
19	تبديل اطراف محولى التيار a & c $V_a , I_c \longrightarrow P_a \quad V_{ca} , I_c \longrightarrow Q_a$ $V_b , I_b \longrightarrow P_b \quad V_{ca} , I_b \longrightarrow Q_b$ $V_c , I_a \longrightarrow P_c \quad V_{ab} , I_b \longrightarrow Q_c$	$P_f = I V_\lambda [\cos(\Phi - 120) + \cos\Phi + \cos(\Phi + 120)]$ $= 0.0$	$Q_f = I V_\Delta [\cos(\Phi + 150) + \cos(\Phi - 90) + \cos(\Phi + 30)]$ $= 0.0$
20	تبديل اطراف محولى التيار c & b $V_a , I_a \longrightarrow P_a \quad V_{bc} , I_a \longrightarrow Q_a$ $V_b , I_c \longrightarrow P_b \quad V_{ca} , I_c \longrightarrow Q_b$ $V_c , I_b \longrightarrow P_c \quad V_{ab} , I_b \longrightarrow Q_c$	$P_f = I V_\lambda [\cos\Phi + \cos(\Phi + 120) + \cos(\Phi - 120)]$ $= 0.0$	$Q_f = I V_\Delta [\cos(\Phi - 90) + \cos(\Phi - 30) + \cos(\Phi + 150)]$ $= 0.0$

21	تغير اتجاه الدوران الى cab $V_c , I_a \longrightarrow P_a$ $V_a , I_b \longrightarrow P_b$ $V_b , I_c \longrightarrow P_c$ $V_{ab} , I_b \longrightarrow Q_a$ $V_{bc} , I_b \longrightarrow Q_b$ $V_{ca} , I_c \longrightarrow Q_c$ شكل (12 – 17)	$P_f = 3I\ V_\lambda \cos (\Phi - 120)$ $= 3I\ V_\lambda [(-1/2)\cos \Phi - (\sqrt{3}/2) \sin \Phi]$	$Q_f = 3I\ V_\Delta \cos (\Phi + 30)$ $= 3I\ V_\Delta [(\sqrt{3}/2) \cos \Phi + (1/2) \sin \Phi]$
22	تغير اتجاه الدوران الى bca $V_b , I_a \longrightarrow P_a$ $V_c , I_b \longrightarrow P_b$ $V_a , I_c \longrightarrow P_c$ $V_{ac} , I_a \longrightarrow Q_a$ $V_{bc} , I_b \longrightarrow Q_b$ $V_{ba} , I_c \longrightarrow Q_c$	$P_f = 3I\ V_\lambda \cos (\Phi - 120)$ $= 3I\ V_\lambda [-(1/2)\cos \Phi + (\sqrt{3}/2)\sin \Phi]$	$Q_f = 3I\ V_\Delta \cos (\Phi + 150)$ $= 3I\ V_\Delta [-(\sqrt{3}/2)\cos \Phi - (1/2) \sin \Phi]$

جدول (3 - 17) القدره المقاسه من خلال عدادات ذات توصيلات خاطئه ومقارنتها بالقدره المقاسه فى حالة التوصيلات السليمه (عدادات الطاقه الفعاله وغير الفعاله –عنصرين – ثلاثة اسلاك)

مسلسل	الحاله	عداد الطاقه الفعاله	عداد الطاقه غير الفعاله توصيل تبادلى 60° cross - connected
1	التوصيلات سليمه لعداد الطاقه الفعاله $V_{ab}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{cb}, I_c \longrightarrow P_2$ شكل (13 – 17)	$P = \sqrt{3}\, I\, V \cos\Phi$ $P = I\, V\, [\cos(\Phi + 30) + \cos(\Phi - 30)]$	
2	التوصيلات سليمه لعداد الطاقه غير الفعاله $V_{bc}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{ac}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (13 – 17)		$Q = \sqrt{3}\, I\, V \sin\Phi$ $= I\, V^{*}\, [\cos(\Phi - 60) + \cos(\Phi - 120)]$

3	دائرة جهد الطور (a) مفتوحه $V_{cb}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{bc}, I_a \longrightarrow Q_2$ شكل (14 – 17)	V_{cb}, I_c $P_f = I\,V \cos(\Phi - 30)$ $P_f = (\frac{\sqrt{3} + \tan\Phi}{2\sqrt{3}})\,P$	I_a, V_{bc} $Q_f = I\,V^* \cos(\Phi - 60)$ $Q_f = (\frac{\sqrt{3} + \cot an\Phi}{2\sqrt{3}})\,Q$
4	دائرة جهد الطور (b) مفتوحه $V_{ac}/2, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{ca}/2, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{ac}, I_c \longrightarrow Q_2$	I_a, $V_{ac}/2$, I_c, $V_{ca}/2$ $P_f = IV(1/2)[\cos(\Phi - 30)+\cos(\Phi+30)]$ $P_f = \frac{1}{2}P$	V_{ac}, I_c $Q_f = I\,V^* \cos(\Phi - 120)$ $Q_f = \frac{\sqrt{3} - \cot an\Phi}{2\sqrt{3}}$
5	دائرة جهد الطور (c) مفتوحه $V_{ab}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{ba}/2, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{ab}/2, I_c \longrightarrow Q_2$	V_{ab}, I_a $P_f = I\,V \cos(\Phi + 30)$ $P_f = (\frac{\sqrt{3} - \tan\Phi}{2\sqrt{3}})\,P$	$V_{ab}/2$, I_a, I_c, $V_{ba}/2$ $Q_f = IV^*(1/2)[\cos(\Phi-120)+\cos(\Phi-60)]$ $Q_f = \frac{1}{2}Q$

6	دائرة تيار الطور (a) مفتوحه $I_a = 0$ $V_{cb}, I_c \longrightarrow P_1$ $V_{ac}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (17 – 15)	$P_f = I\,V \cos(\Phi - 30)$ $Pf = (\frac{\sqrt{3} + \tan\Phi}{2\sqrt{3}})P$	$Q_f = I\,V^* \cos(\Phi - 120)$ $Qf = (\frac{\sqrt{3} - \cot an\Phi}{2\sqrt{3}})Q$
7	دائرة تيار الطور (c) مفتوحه $V_{ab}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{bc}, I_a \longrightarrow Q_1$	$P_f = I\,V \cos(\Phi + 30)$ $Pf = (\frac{\sqrt{3} - \tan\Phi}{2\sqrt{3}})P$	$Q_f = I\,V^* \cos(\Phi - 60)$ $Qf = (\frac{\sqrt{3} + \cot an\Phi}{2\sqrt{3}})Q$
8	عكس قطبية محول التيار (a) $V_{ab}, -I_a \longrightarrow P_1 \quad V_{bc}, -I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{cb}, I_c \longrightarrow P_2 \quad V_{ac}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (17 – 16)	$P_f = IV[\cos(\Phi - 150) + \cos(\Phi - 30)]$ $Pf = (\frac{\tan\Phi}{\sqrt{3}})P$	$Q_f = I\,V^* [\cos(\Phi + 120) + \cos(\Phi - 120)]$ $Qf = (\frac{-1}{\sqrt{3}\tan\Phi})Q$

	الحالة	P_f	Q_f
9	عكس قطبية محول التيار (c) $V_{ab}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{bc}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{cb}, -I_c \longrightarrow P_2$ $V_{ac}, -I_c \longrightarrow Q_2$	$P_f = IV[\cos(\Phi + 30) + \cos(\Phi + 150)]$ $Pf = (\frac{-\tan\Phi}{\sqrt{3}})P$	$Q_f = I V^* [\cos(\Phi - 60) + \cos(\Phi + 60)]$ $Qf = (\frac{1}{\sqrt{3}\tan\Phi})Q$
10	عكس قطبية محول الجهد (a) $V_{ba}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{bc}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{cb}, I_c \longrightarrow P_2$ $3V_{b-o}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (17 – 17)	Ia, Vcb, Ic, Vba $P_f = IV[\cos(\Phi - 150) + \cos(\Phi - 30)]$ $Pf = (\frac{\tan\Phi}{\sqrt{3}})P$	Ia, Vbc, Ic, $3V_{b-o}$ $Q_f = I V^* [\cos(\Phi - 60) + \sqrt{3}\cos(\Phi + 150)]$ $Qf = (\frac{-1}{\sqrt{3}\tan\Phi})Q$
11	عكس قطبية محول الجهد (c) $V_{ab}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{cb}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{bc}, I_c \longrightarrow P_2$ $3V_{o-b}, I_c \longrightarrow Q_2$	$P_f = IV[\cos(\Phi + 30) + \cos(\Phi + 150)]$ $Pf = (\frac{-\tan\Phi}{\sqrt{3}})P$	$Q_f = I V^* [\cos(\Phi + 120) + \overline{\sqrt{3}}\cos(\Phi - 30)]$ $Qf = (\frac{1}{\sqrt{3}\tan\Phi})Q$

12	تبديل طرفى الجهد b & a $V_{bc}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{ac}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{ca}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{bc}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (18 – 17)	$P_f = IV[\cos(\Phi - 150) + \cos(\Phi + 30)]$ $= 0.0$	$Q_f = I V^* [\cos\Phi + \cos(\Phi - 180)]$ $= 0.0$
13	تبديل طرفى الجهد c & a $V_{cb}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{ba}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{ab}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{ca}, I_c \longrightarrow Q_2$	$P_f = IV[\cos(\Phi + 90) + \cos(\Phi - 90)]$ $= 0.0$	$Q_f = I V^* [\cos(\Phi - 120) + \cos(\Phi + 60)]$ $= 0.0$
14	تبديل طرفى الجهد c & b $V_{ac}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{cb}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{bc}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{ab}, I_c \longrightarrow Q_2$	$P_f = IV[\cos(\Phi - 30) + \cos(\Phi + 150)]$ $= 0.0$	$Q_f = I V^* [\cos(\Phi + 120) + \cos(\Phi - 60)]$ $= 0.0$

15	تركيب محول تيار الطور a بالطور b $V_{ab}, I_b \longrightarrow P_1$ $V_{bc}, I_b \longrightarrow Q_1$ $V_{cb}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{ac}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (19 – 17)	V_{ab} V_{cb} I_c I_b $P_f = IV\,[\cos(\Phi + 150) + \cos(\Phi - 30)]$ $= 0.0$	V_{ac} V_{bc} I_c I_b $Q_f = IV^*\,[\cos(\Phi + 60) + \cos(\Phi - 120)]$ $= 0.0$
16	تبديل خرج محول تيار a مع محول تيار c $V_{ab}, I_c \longrightarrow P_1$ $V_{bc}, I_c \longrightarrow Q_1$ $V_{cb}, I_a \longrightarrow P_2$ $V_{ac}, I_a \longrightarrow Q_2$ شكل (20 – 17)	$P_f = IV[\cos(\Phi - 90) + \cos(\Phi + 90)]$ $= 0.0$	$Q_f = IV^*\,[\cos(\Phi + 180) + \cos\Phi]$ $= 0.0$
17	تركيب محول تيار الطور c بالطور b $V_{ab}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{bc}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{cb}, I_b \longrightarrow P_2$ $V_{ac}, I_b \longrightarrow Q_2$	$P_f = IV[\cos(\Phi + 30) + \cos(\Phi - 150)]$ $= 0.0$	$Q_f = IV^*\,[\cos(\Phi - 60) + \cos(\Phi + 120)]$ $= 0.0$

18	تغيير اتجاه الدوران الى cab $V_{ca}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{ab}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{ba}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{cb}, I_c \longrightarrow Q_2$ شكل (21 – 17)	$P_f = IV[\cos(\Phi + 150) + \cos(\Phi + 90)]$ $P_f = -[(1/2) + (\sqrt{3}/2)\tan\Phi]\,P$	$Q_f = IV^*[\cos(\Phi + 60) + \cos\Phi]$ $Q_f = -[(1/2) - (\sqrt{3}/2)\cot\Phi]\,Q$
19	تغيير اتجاه الدوران الى bca $V_{bc}, I_a \longrightarrow P_1$ $V_{ca}, I_a \longrightarrow Q_1$ $V_{ac}, I_c \longrightarrow P_2$ $V_{ba}, I_c \longrightarrow Q_2$	$P_f = IV[\cos(\Phi - 90) + \cos(\Phi - 150)]$ $P_f = -[(1/2) - (\sqrt{3}/2)\tan\Phi]\,P$	$Q_f = IV^*[\cos(\Phi + 180) + \cos(\Phi + 120)]$ $Q_f = -[(1/2) + (\sqrt{3}/2)\cot\Phi]\,Q$

جدول (4 – 17) انواع اعطال توصيلات العدادات والقدره المقاسه منسوبه الى القدره الحقيقيه (الفعليه)

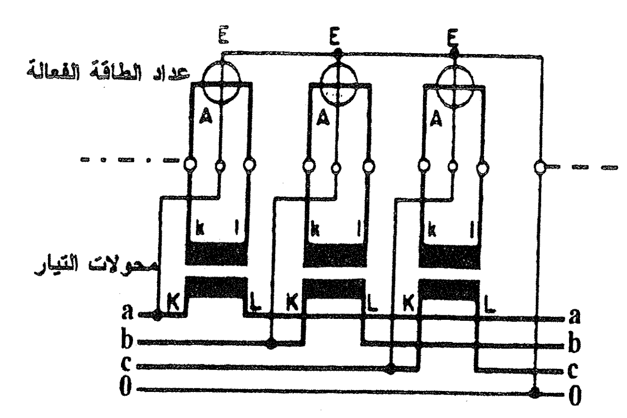
مسلسل	نوع العطل	عداد ثلاثي الطور – ثلاثة عناصر – اربعة اسلاك		عداد ثلاثي الطور – عنصرين – ثلاثة اسلاك	
		عداد الطاقه الفعاله (V & I في اتجاه طورى واحد)	عداد الطاقه غير الفعاله 90° توصيل متعامد (V & I في اتجاه طورى واحد)	عداد الطاقه الفعاله	عداد الطاقه غير الفعاله (60° cross connection)
1	فتح دائرة الجهد للطور a شكل (6 – 17) & شكل (14 – 17)	0.67	0.5	$\frac{\sqrt{3} + \tan \Phi}{2\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3} + \cot an \Phi}{2\sqrt{3}}$
2	فتح دائرة الجهد للطور b	0.67	0.5	0.5	$\frac{\sqrt{3} - \cot an \Phi}{2\sqrt{3}}$
3	فتح دائرة الجهد للطور c	0.67	0.5	$\frac{\sqrt{3} - \tan \Phi}{2\sqrt{3}}$	0.5
4	فتح دائرة التيار للطور a شكل (7 – 17) & شكل (15 – 17)	0.67	0.67	$\frac{\sqrt{3} + \tan \Phi}{2\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3} - \cot an \Phi}{2\sqrt{3}}$
5	فتح دائرة التيار للطور b	0.67	0.67	لايوجد محول تيار	
6	فتح دائرة التيار للطور c	0.67	0.67	$\frac{\sqrt{3} - \tan \Phi}{2\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3} + \cot an \Phi}{2\sqrt{3}}$
7	عكس قطبية التيار للطور a شكل (8 – 17) & شكل (16 – 17)	0.33	0.33	$\frac{\tan \Phi}{\sqrt{3}}$	$\frac{-1}{\sqrt{3} \tan \Phi}$
8	عكس قطبية التيار للطور b	0.33	0.33	لايوجد محول تيار	
9	عكس قطبية التيار للطور c	0.33	0.33	$\frac{- \tan \Phi}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3} \tan \Phi}$

تابع جدول (4 – 17) انواع اعطال توصيلات العدادات والقدره المقاسه منسوبه الى القدره الحقيقيه (الفعليه)

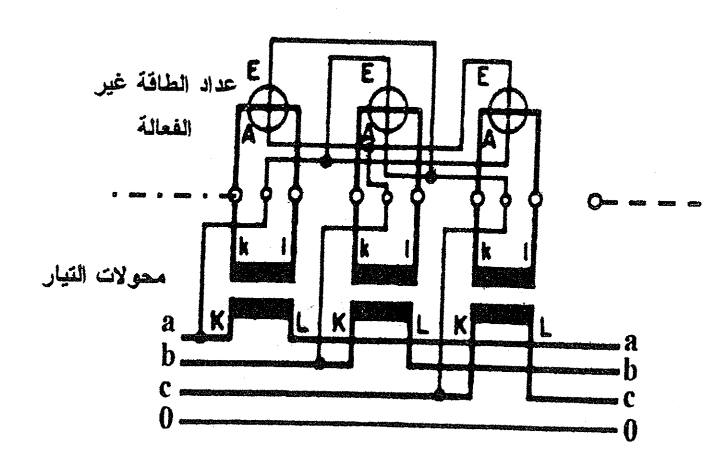
مسلسل	نوع العطل	عداد ثلاثي الطور – ثلاثة عناصر – اربعة اسلاك		عداد ثلاثي الطور – عنصرين – ثلاثة اسلاك	
		عداد الطاقه الفعاله (V & I في اتجاه طوری واحد)	عداد الطاقه غير الفعاله 90° توصيل متعامد (V & I فی اتجاه طوری واحد)	عداد الطاقه الفعاله	عداد الطاقه غير الفعاله (60° cross connection)
10	عكس قطبية الجهد للطور a (فى حالة استخدام محولات جهد فقط) شكل (9 – 17) & شكل (17 – 17)	0.33	0.33	$\frac{\tan \Phi}{\sqrt{3}}$	$\frac{-1}{\sqrt{3} \tan \Phi}$
11	عكس قطبية الجهد للطور b (فى حالة استخدام محولات جهد فقط)	0.33	0.33	——	——
12	عكس قطبية الجهد للطور c (فى حالة استخدام محولات جهد فقط)	0.33	0.33	$\frac{-\tan \Phi}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3} \tan \Phi}$
13	تبديل طرفى الجهد b & a شكل (10 – 17) & شكل (18 – 17)	0.0	0.0	0.0	0.0
14	تبديل طرفى الجهد c & a	0.0	0.0	0.0	0.0
15	تبديل طرفى الجهد c & b	0.0	0.0	0.0	0.0

تابع جدول (4 – 17) انواع اعطال توصيلات العدادات والقدره المقاسه منسوبه الى القدره الحقيقيه (الفعليه)

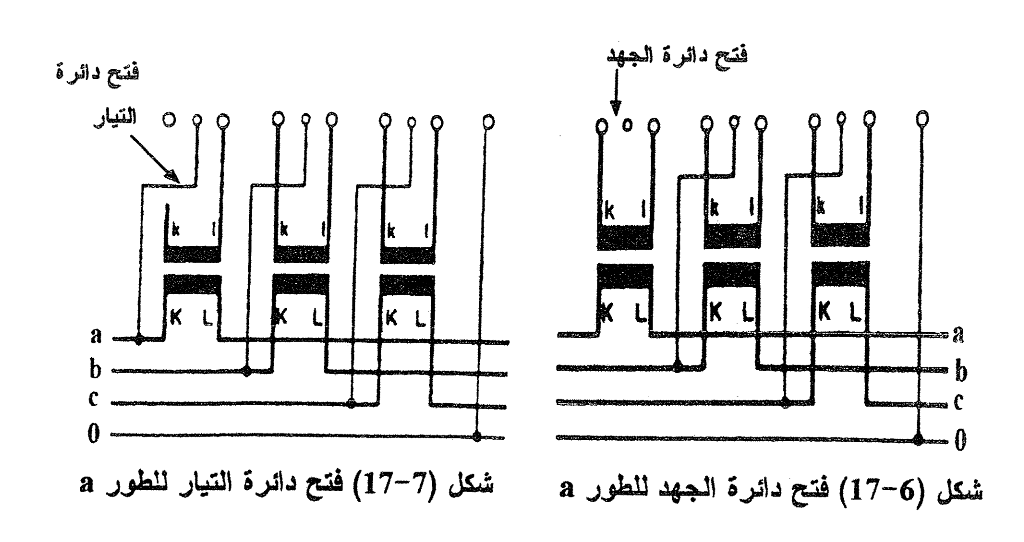
مسلسل	نوع العطل	عداد ثلاثي الطور – ثلاثة عناصر – اربعة اسلاك		عداد ثلاثي الطور – عنصرين – ثلاثة اسلاك	
		عداد الطاقه الفعاله (V & I في اتجاه طورى واحد)	عداد الطاقه غير الفعاله 90° توصيل متعامد (V & I في اتجاه طورى واحد)	عداد الطاقه الفعاله	عداد الطاقه غير الفعاله (60° cross connection)
16	تبديل اطراف محولى التيار b & a شكل (11 – 17) & شكل (19 – 17)	0.0	0.0	0.0	0.0
17	تبديل اطراف محولى التيار c & a شكل (20 – 17)	0.0	0.0	0.0	0.0
18	تبديل اطراف محولى التيار c & b	0.0	0.0	0.0	0.0
19	تغيير اتجاه الدوران الى cab شكل (12 – 17) & شكل (21 – 17)	$\frac{-1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\tan\Phi$	$\frac{-1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\cot an\Phi$	$\frac{-1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\tan\Phi$	$\frac{-1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\cot an\Phi$
20	تغيير اتجاه الدوران الى bca	$\frac{-1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\tan\Phi$	$\frac{-1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\cot an\Phi$	$\frac{-1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\tan\Phi$	$\frac{-1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}\cot an\Phi$



شكل (4-17) توصيلات عداد الطاقة الفعالة - ثلاثة عناصر-
اربعة اسلاك-يغذى من خلال محولات تيار

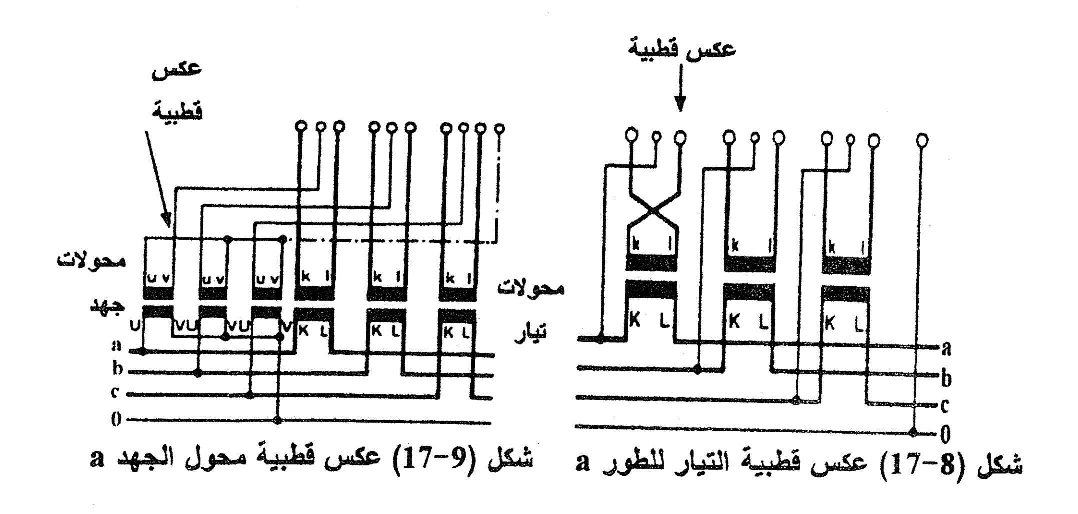


شكل (5-17) توصيلات عداد الطاقة غير الفعالة - ثلاثة عناصر-
اربعة اسلاك-يغذى من خلال محولات تيار



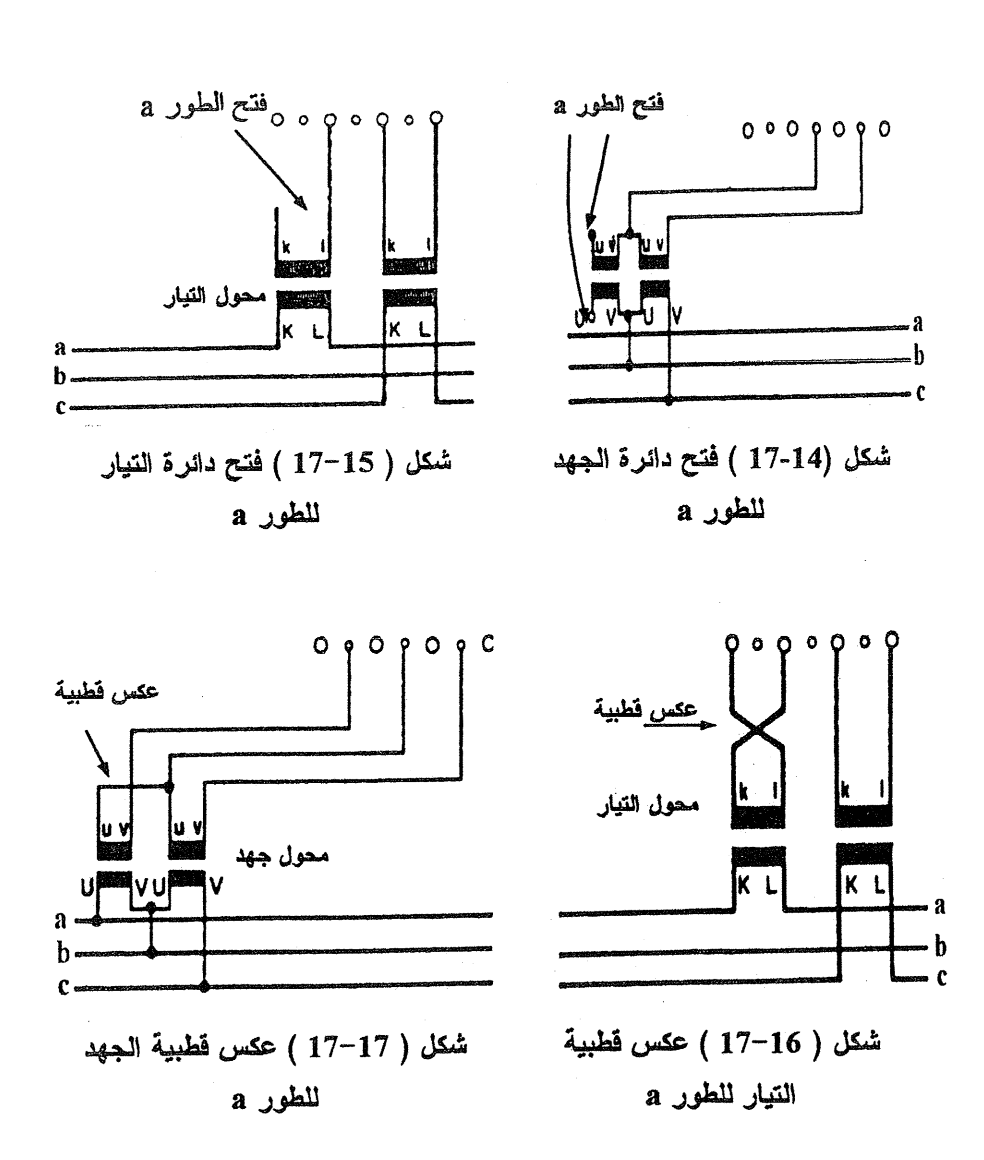
شكل (17-6) فتح دائرة الجهد للطور a

شكل (17-7) فتح دائرة التيار للطور a



شكل (17-8) عكس قطبية التيار للطور a

شكل (17-9) عكس قطبية محول الجهد a

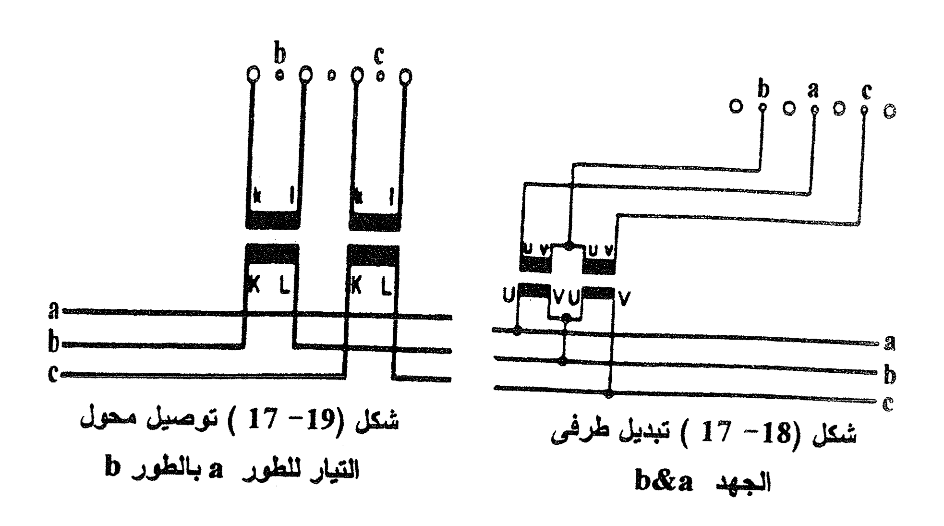


شكل (14-17) فتح دائرة الجهد للطور a

شكل (15-17) فتح دائرة التيار للطور a

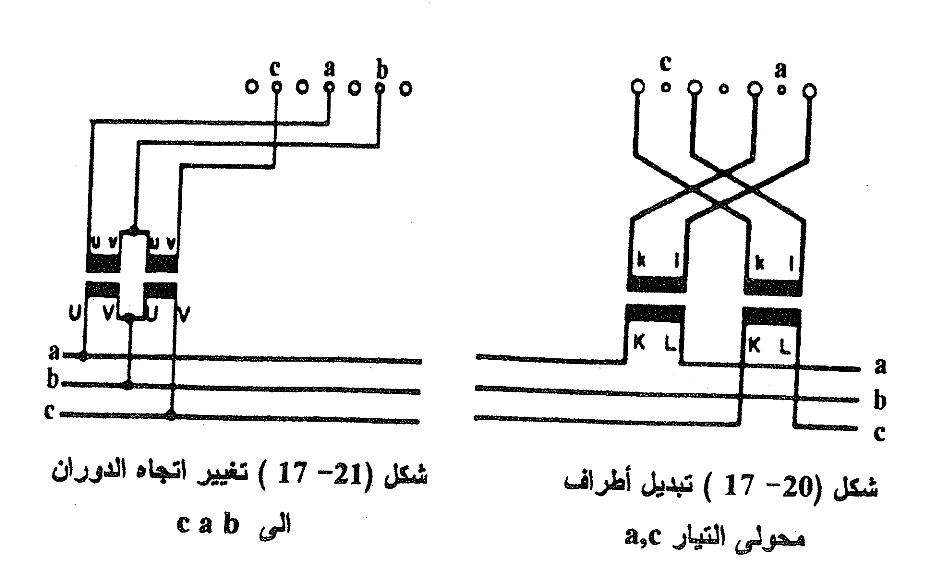
شكل (16-17) عكس قطبية التيار للطور a

شكل (17-17) عكس قطبية الجهد للطور a



شكل (18- 17) تبديل طرفى الجهد b&a

شكل (19- 17) توصيل محول التيار للطور a بالطور b



شكل (20- 17) تبديل أطراف محولى التيار a,c

شكل (21- 17) تغيير اتجاه الدوران الى c a b

الطرق المختلفة لسرقات الكهرباء والمسجلة بتايلاند

عرضت هيئة الطاقة الاقليمية بتايلاند [4]
(Provincial Energy Authority of Thailand) أن سـرقات الكهرباء تصنف تبعا للجهد كالآتى:

(1) بعدادات الجهد العالى **High voltage meters**

(2) بعدادات الجهد المنخفض **Low voltage meters**

وفيما يلى توضيح ذلك:

(1)عدادات الجهد العالى (24 KV,12 KV ثلاثية الاطوار-ثلاثة أو أربعة أسلاك)

High Voltage Meters (12 KV or 24 KV, 3-phase, 3 or 4 wire primary)

تعـتمد العـدادات ثلاثـية الاطـوار على التقنية المعروفة " بالعدادات المحتوية على عنصـرين وات ساعه " (two watt-hour meters) والتى تستخدم لقياس الطاقة. ولأن الاحمـال متصلة على الجهد العالى ومستوى تيار مستهلك عالى، فيجب توصيل ملفـات التـيار والجهد من خلال الدوائر الثانوية لمحولات التيار ومحولات الجهد على التوالى.

ويوضح شكل (22-17) توصيلة عدادات طاقة – ثلاثى الاطوار- يحتوى على عنصرين احـيانا يكـون من الشائع استخدام تعبير دوائر التحكم (control wires) بالعدادات والتى تعنى الدوائر الثانوية لمحولات التيار.

وفيما يلى أنواع التلاعب المختلفة

1.1. التلاعب فى أطراف الاحكام (Tampering with terminal seals)

ويعتـبر هذا التلاعب هو أكثر طرق السرقات والانتهاكات شيوعا، وذلك لسهولة الـتعامل مـع هـذه الاطراف، والموجودة أسفل العداد نفسه. بمجرد كسر وسيلة الاحكـام، يصـبح من السهولة توصيل أحد أسلاك التحكم (control wires) أو أسلاك محول التيار إلي الأرضي.. هذا يؤدى إلى أن العداد لا يرى على الاقل أحد أطوار التيار أو الجهد..

1.2. قطع أسلاك التحكم (Breaking control wires)

تشير أسلاك التحكم إلى الأسلاك الثانوية لمحولات التيار.وحيث أن عدادات الأحمال المرتفعة تقيس تيارات عالية فإنه يجب استخدام محولات تيار لتخفيض مستوى التيار إلى قيم تتناسب وتتناسق مع مكونات العدادات. فى حالة حدوث قطع فى أسلاك التحكم فإنه يمكن توصيل تفريعات خارجية (external taps) لتخفيض التيار الداخل الى العداد، مؤديا إلى أن العداد يقرأ تيار أقل من الطبيعي.

1.3. التلاعب فى احكام العداد (Tampering with meter seals)

هذا التلاعب من طرق السرقات والانتهاكات الشائعة ايضا، إن التلاعب فى احكام العداد يعنى أن الشخص أصبح قادرا على اختراق العداد نفسه، عندئذ يمكن التلاعب بطرق متعددة ستذكر فيما بعد.

1.4. عمل قصر على دوائر التحكم (Shorting control wires)

عند عمل قصر على دوائر التحكم، عندئذ يصبح التيار المار بالعداد مساويا للصفر. ولا يسجل العداد استهلاك للطاقة الكهربائية بمعنى آخر أن يصبح الاستهلاك التراكمى ثابتا.

1.5. قطع بتفريعات الجهد (Breaking voltage taps)

تستخدم تفريعات الجهد بالعداد للحصول على قراءة جهد الحمل. بمجرد حدوث قطع بهذه الأطراف (أو حدوث توصيل مع الأرض، أو توصيله بخط آخر..) فإن قراءة العداد تصبح غير حقيقية، وتقرأ جهد أقل فى حالات سرقة الكهرباء.

من الأحداث غير المرغوبة، أن يكون المطلوب أن يقرأ العداد قيم أكبر من الحقيقة، عندئذ توصل أطراف الجهد بمستوى جهد أعلى، والنتيجة قراءة استهلاك أكبر.

كثير من العدادات لا تعمل بدقة أو أن تنهار عند التعرض لهذا الفعل، يجب أن تعمل المكونات الداخلية للعداد عند الحالات المقننة للوصول إلى أداء دقيق.

1.6. التوصيل المباشر بالشبكة (Direct connection to the grid)

مـــن الطرق الواضحة لمنع تسجيل الاستهلاك أن تغذى الاحمال من مسار جانبى خـــارج العــداد. من أكثر العوائق لهذا التلاعب أن تكون تغذية احمال مرتفعة من خط جهد عالي (مثلا 11KV) ولا يمكن عندئذ التغذية المباشرة من الشبكة. عادة ما تتم التوصيلات من خلال مرافق الكهرباء لتحقيق الامان اللازم.

1.7. التلاعب بالعداد (Tampering with the meter)

بمجـــرد امكانـــية التلاعب فى وسيلة الاحكام أو السدادة للعداد، يصبح من السهل الوصول إلى المكونات الداخلية للعداد، حيث توجد وسائل وطرق متعددة لامكانية توقـــف أو تســـريع قـــراءة العـــداد. مـــن الطرق الشائعة، اعاقة أو منع الحركة الميكانيكـــية للقرص. من الأفعال الاخرى العامة تدوير القرص للخلف وهذا يعنى استرجاع القراءات المسجلة للاستهلاك بالعداد.

1.8. تغير أطراف محولات التيار (Switching CT wires)

هذه الطريقة فعالة وغير ملحوظة ودقيقة لتخفيض استهلاك الكهرباء.

كثـــير من العدادات ثلاثية الاطوار تستخدم محولين تيار فقط لقراءة تيار الطورين A,B بفرض أن الاحمال متزنة للثلاثة اطوار. ولكن فى الحقيقة، المنشآت الكبيرة مـــثل المصـــانع والمباني التجارية تكون احمالها غير متزنة. اعتمادا على توزيع التيارات يمكن أن يصل عدم اتزان التيار من 10% إلى 20% للأحمال المرتفعة. وعادة ما يكون تيار الطور C أقل تيار وأصغر معامل قدرة للثلاثة أطوار، هذا ما يعلل لماذا يختار الطورين A, B لمحولات التيار لتغذية العداد.

بتـــبديل محـــولات التيار أو تبديل الدوائر الثانوية لمحولات التيار، عندئذ ستتغير قـــراءة تيار العداد. ينتج من تبديل الطورين A, B أن تنعكس زاوية الاختلاف الظاهـــرة علـــى العداد، مؤثرة على معامل القدرة المقروء وعلى القدرة والطاقة المسجلة.

إذا تم تغيير وضع محول التيار من أحد الطورين A أو B إلى الطور C فإن القدرة المقروءة تنخفض .

(2) عدادات الجهد المنخفض (احادية الطور 220 V)

Low voltage Meters (220 V single phase)

يوضح شكل (17-23) أماكن التلاعب فى عدادات الجهد المنخفض وفيما يلى طرق التلاعب المختلفة :

2.1. التوصيل المباشر من الشبكة

(Direct connection to the power grid)

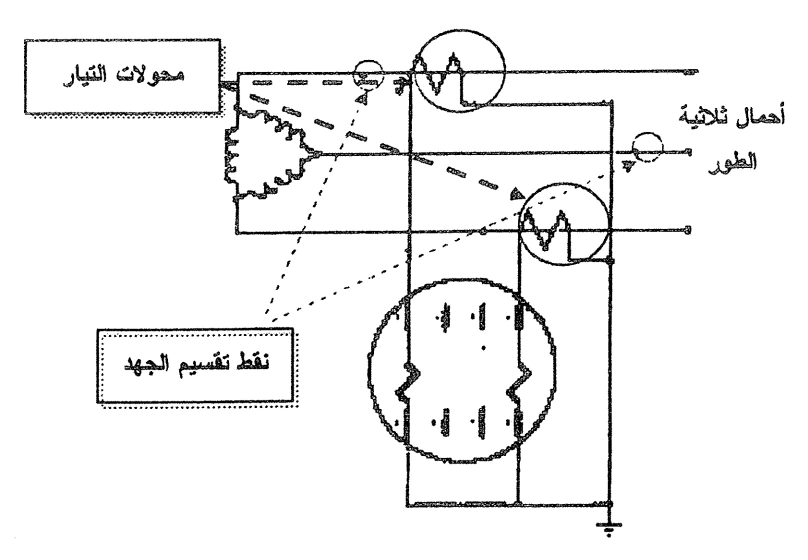
عادة توصل عدادات المبانى السكنية والاعمال الصغيرة مباشرة من الشبكة الكهربائية وتكون التوصيلات فى هذه الحالة أسهل كثيرا من التوصيل على الجهد المتوسط أو العالى. لذلك يمكن التلاعب بسهوله عن طريق تغذية الأحمال من الشبكة الكهربائية مباشرة من الأطراف قبل دخول العداد.. كذلك يمكن التوصيل المباشر من الشبكة فى المناطق العشوائية وغير المركب بها عدادات..

2.2. استخدام خطوط تعادل بديله (Using alternate neutral lines)

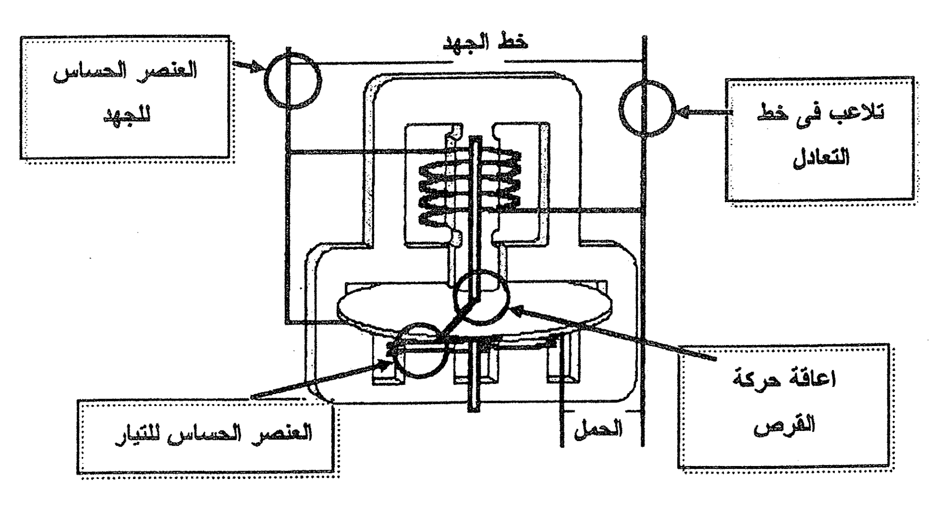
تغذى النظم احادية الطور بسلك واحد فقط، وهو ما يطلق عليه بالخط الساخن (hot line). ويكون مسار التعادل عادة مؤرضا (كهربيا يعنى توصيله بالارض) وهو مسار عودة التيار، أو مسار استكمال الدائرة الكهربائية. إذا استخدم شخص محول صغير كمسار تعادل، فإن الجهد الواصل للعداد يقل عن القيمة الحقيقية والنتيجة انخفاض تسجيل العداد.

2.3. توصيل طور / طور (phase- to- phase connection)

تشبه هذه الحالة حالة خط تعادل بديل، ماعدا أن جهد النظام يصبح جهد بين طور / طور.



شكل (22-17) توصيل عداد ثلاثى الطور ذات عنصرين



شكل (23-17) بعض أنواع التلاعب بعداد احادى الطور

2.4. تلاعب بالعداد / قطع السدادة الحاكمة للعداد
(Meter tampering / breaking seal)

هذه الحالة تشبه الحالات (1.3) & (1.7) فى البند السابق.

2.5. طرق أخرى مثل:

- استخدام مغناطيس لإبطاء سرعة دوران العداد.
- تعطيل أجزاء داخل العداد.
- ادخال شريحه رفيعه جدا لملامسة قرص الدوران.

فــى حالــة العدادات احادية الطور يوجد أكثر من 20 حالة للتوصيلات الخارجيه تــؤدى إلــى تسجيلات منخفضة. بينما فى العدادات ثلاثية الاطوار فتوجد أربعة طرق لجعل العداد ابطىء.

مثال للفقد غير الفنى بتايلاند

سـجلت فـى تايلاند عدد 127 حالة انتهاك أو تعدى بعدادات الجهد العالى خلال الفترة مـن أكـتوبر 2000 وحتى يونيه 2001 ممثله خسارة حوالى 245000 دولار. هذه القيمة تمثل سعر الاستهلاك المفقود نتيجة هذه الحالات ولا تحتوى على سعر المعدات أو المكونات العاطلة ولا تكلفه مجموعة العمل التى كشفت هذه الحالات.

فـى نفـس هـذه الفترة سجلت 2167 حالة تعدى أو تلاعب بعدادات الجهد المنخفض وقدرت بقيمة 155000 دولار.

يوضح جدول (17-5) توضيح لحالات التعدى بعدادات الجهد العالى

بينما يبين جدول (17-6) بيان بحالات التعدى بعدادات الجهد المنخفض

جدول (17-5) تصنيف لحالات التلاعب بعدادات مستهلكى الجهد العالى فى تايلاند
خلال الفترة من أكتوبر 2000 وحتى يونيه 2001

نوع التلاعب	عددالحالات
التلاعب فى أطراف الاحكام Tampering with terminal seals	69
قطع بأسلاك التحكم Breaking control wires	12
التلاعب فى سداده العداد Tampering meter seals	30
عمل قصر على دوائر التحكم Shorting control wires	5
قطع بتفريعات الجهد Breaking the voltage taps	5
التوصيل المباشر بالشبكة Direct connections to grid	3
التلاعب بالعداد Tampering with the meter	2
تغيير أطراف محولات التيار Switching control wires	3
الاجمالى	127

Source : PEA, internal memorandum, June 2001

جدول (6-17) تصنيف لحالات التلاعب بعدادات مستهلكي الجهد المنخفض فى تايلاند
خلال الفترة من أكتوبر 2000 وحتى يونيه 2001

عدد الحالات	نوع التلاعب
677	التوصيل المباشر من الشبكة **Direct Connection to grid**
541	استخدام خطوط تعادل بديلة **Using alternative neutral lines**
270	توصيلات طور / طور **Phase-to-phase connections**
270	تلاعب بالعداد / قطع السدادة الحاكمة للعداد **Meter tampering /breaking meter seals**
409	**Other** أخرى
2167	إجمالي

Source : PEA, internal memorandum, June 2001

خلال الفترة من أكتوبر 2000 وحتى يونيه 2001 كانت بيانات الفقد كالآتى

- نسبة الفقد الكلى % 5.69
- تمثل حالات التلاعب المذكورة نسبة 0.32% من الفقد الكلى، بينما تمثل % 0.018 من الطاقة الكلية للمصدر

وسائل تخفيض المفقودات الفنية

Measures for reducing technical losses

وسائل قصيرة المدى Short term measures

- تصنف المناطق أو الهندسات الأضعف فى نظم وشبكات التوزيع بحيث يتم التركيز عليها وتحسينها لنحصل على اقصى فوائد للحد من المصادر.
- تقليل أطوال خطوط الجهد المنخفض وذلك بإعادة توزيع أماكن المحطات الفرعية حتى لو احتاج الامر لتركيب محولات توزيع اضافية.
- تركيب محولات توزيع ذات سعات أصغر عند كل مركز أحمال بدلا من محولات التوزيع ذات السعات العالية وغير المحملة.
- تركيب مكثفات على التوازى لتحسين معامل القدرة.

وسائل طويلة المدى Long - term measures

- تجهيز خريطة كاملة موضحا عليها شبكة التوزيع الأساسية والثانوية وايضا مسجلا عليها البيانات المتغيرة مثل طول ومقاس الخط أو الكابل..
- تسجيل بيان الأحمال الموجودة، حالات التشغيل، التنبؤ بالأحمال المتوقعة..
- اجراء دراسة توضيحية أو تفصيلية لنظام التوزيع مع الاخذ فى الاعتبار تطور الاحمال المتوقعة لمدى 8 -10 سنوات قادمة.
- تجهيز خطة طويلة المدى على مراحل لتحسين شبكات التوزيع بالتنسيق مع نظم النقل.
- تقدير المتطلبات المالية لتطبيق المراحل المختلفة لمجموعات تحسين النظام.

طرق تخفيض الفقد غير الفنى
Measures for reducing non - technical losses

على شركات ومرافق الكهرباء اتباع الطرق التالية لتخفيض الفقد غير الفنى:

1. القياسات: (Metering)

تكون القياسات الكافية عند حد مرفق الكهرباء هى الاساس للتغلب ومنع سرقات الكهرباء ومنع التهرب من دفع قيمة الاستهلاك. فيجب تركيب العدادات عند محطات المحولات والمغذيات ومصادر التغذية للمستهلك.

2. تنظيم الوظائف التجارية (organization of commercial functions)

يجب أن تنظم مرافق الكهرباء أعمال: قراءات العدادات، اصدار الفواتير، التحصيل، والمتابعة. تتم هذه الاعمال منفصلة لتجنب التواطؤ وتسمح بتحكم ومراقبة اكبر و أشمل.

(يجب البدء فى التفكير أن يتم الدفع عن طريق الشيكات أو فيزا كارت أو ...)

3. تشجيع فريق المرفق (Incentive mechanisms for utility staff)

يجب وضع نظام للحوافز للاداء الجيد لتحصيل وتجميع فواتير الاستهلاكات

4. العمل مع كبار المستهلكين (Working with large consumers)

يجب وضع نظام عمل جيد لتحصيل وتجميع فواتير الاستهلاكات لكبار المستهلكين

5. تخفيضات السعر (Price Discounts)

بالاضافة إلى التخفيضات المنتظمة، تقدم بعض المرافق فترات تغذية كهربائية أطول أو مصادر تغذية مضمونة للمستهلكين الذين يدفعون مقدما.

6. ملاحظات الكشافين والمحصلين

يجب على الكشافين والمحصلين ملاحظة الاتى:

- هل العداد مقلوب (إلى أعلى أو إلى أسفل)
- هل يوجد ثقب فى الغطاء الزجاجى للعداد
- هل يوجد مغناطيس حول العداد أو قريبا منه
- هل يوجد سلك أو كابل قريب مع العداد غير التوصيلات الاساسية
- هل يوجد أى نوع من التلاعب

7. مراجعة ومنع سرقات الطاقة الكهربائية.

8. فرض غرامة أو عقوبة شديدة علي المتلاعبين وسارقي الكهرباء.

9. تجهيز معدات أمان كافية للعدادات مثل استخدام:

- صناديق غير قابلة للتلاعب (Tamper - proof meter boxes)
- متحكم مرقم غير قابل للتلاعب(Tamper-proof numbered seals)

10. تجهيز معمل بأجهزة معايرة عالية الكفاءة لمعايرة العدادات

11. التخطيط لاستخدام عدادات ذات درجة دقة عالية (class 0.5)

ولقـد وجـد عالميا أنه يمكن تخفيض المفقودات السنوية عن طريق اجراء أبحاث فى المجالات الاتيه:

- جودة الخدمة Service quality
- خدمة المشتركين Customer service
- تحقيق الخدمة الكلية Overall service satisfaction

ملحق (A)

عدادات الطاقة

Energy Meters

تمـــثل عـــدادات الطاقـــة أهمـــية خاصـــة لمرافق وشركات الكهرباء حيث يعتمد على تســـجيلاتها للطاقـــة فى تحصيل الدخل بالاضافة إلى استخدامها فى حسابات مفقودات الطاقة..

يوضح جدول (A- 1) خصائص عدادات الطاقة على الجهد المنخفض والجهد المتوسط

ويبين شكل (A-1) المكونات الاساسية لعداد طاقة فعالة تأثيرى- احادى الطور

ويوضـــح شـــكل (A-2) الطـــرق المختلفة لتوصيل عدادات الطاقة – ثلاثية الاطوار – المحتوية على عنصرين أو ثلاثة عناصر

ويوضـــح شـــكل (A-3) الرسم الاتجاهى لعداد الطاقة – ثلاثى الاطوار – (3 سلك – عنصرين) من خلال محولين تيار ومحولين جهد

ويوضـــح شكل (A-4) الرسم الاتجاهى لعداد الطاقة – ثلاثى الاطوار – (4 سلك – 3 عناصر)

القدرة المقاسة

أ- عدادات الطاقة الفعالة ذات عنصرين (2- element meters)

فيما يلى معادلات القدرة الكهربائية تبعا لشكل (A- 3)

معادلة العنصر الأول $P_1 = V_{ab}\ I_a \cos(\varphi + 30)$

معادلة العنصر الثانى $P_2 = V_{cb}\ I_c \cos(\varphi - 30)$

القدرة الكلية $P = P_1 + P_2$

$V_{ab} = V_{cb} = V_\Delta$

$I_a = I_c = I$

$$\cos(\varphi + 30) = \cos\varphi \cos 30 - \sin\varphi \sin 30$$

$$\cos(\varphi - 30) = \cos\varphi \cos 30 + \sin\varphi \sin 30$$

$$\cos 30 = 0.866$$

$$P = P_1 + P_2 = 2\, V_\Delta\, I \cos 30 \cos\varphi$$

$$P = 2 * 0.866\, V_\Delta\, I \cos\varphi$$
$$= 1.73\, V_\Delta\, I \cos\varphi$$
$$= \sqrt{3}\; V_\Delta\, I \cos\varphi$$

$V_\Delta =$ الجهد بين خطين

ب- عدادات الطاقة الفعالة ذات ثلاثة عناصر (3- element meters)

فيما يلي معادلات القدرة الكهربائية تبعا لشكل (A-4)

$$P_a = V_{ao}\, I_a \cos\varphi$$

$$P_b = V_{bo}\, I_b \cos\varphi$$

$$P_c = V_{co}\, I_c \cos\varphi$$

$$P = P_a + P_b + P_c$$

$$V_{ao} = V_{bo} = V_{co} = V_\lambda$$

$$I_a = I_b = I_c = I$$

$$\therefore P = 3\, V_\lambda\; I\; \cos\varphi$$

$V_\lambda =$ الجهد بين الخط والتعادل

$$P = \sqrt{3}\; V_\Delta\, I \cos\varphi$$

$V_\Delta =$ الجهد بين خطين

جـ عدادات الطاقة غير الفعالة ذات عنصرين

فيما يلي معادلات القدرة الكهربية تبعا لشكل (A-5)

يحـتوي العـداد علي اتزان داخلي بزاوية 60° وعلي ذلك فإن الفيض الناتج عن الجهد (voltage driving flux) يتأخر عن الجهد بزاوية 60°

$Q_1 = V^*_a I_a \cos(60 - \varphi)$ معادلة العنصر الأول

$Q_2 = V^*_c I_c \cos(120 - \varphi)$ معادلة العنصر الثانى

V^*_a و V^*_c = imaginary voltages = الجهود التخيلية

$$V_{bc} = V_{ac} = V^*_a = V^*_c = V_\Delta$$

$$I_a = I_c = I$$

$$\varphi_a = \varphi_b = \varphi$$

$$\cos(60 - \varphi) = (\cos 60 \cos \varphi) + (\sin 60 \sin \varphi)$$

$$\cos(120 - \varphi) = (\cos 120 \cos \varphi) + (\sin 120 \sin \varphi)$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = I V_\Delta (0.866 \sin \varphi + 0.866 \sin \varphi)$$

$$= \sqrt{3}\ I V_\Delta \sin \varphi$$

د- عدادات الطاقة غير الفعالة ذات ثلاثة عناصر

فيما يلي معادلات القدرة الكهربائية تبعا لشكل (A-6)

$Q_1 = V_{bc} I_a \cos(90 - \varphi)$ معادلة العنصر الأول

$Q_2 = V_{ca} I_b \cos(90 - \varphi)$ معادلة العنصر الثاني

$Q_3 = V_{ab} I_c \cos(90 - \varphi)$ معادلة العنصر الثالث

$V_{bc} = V_{ca} = V_{ab} = V_\Delta$

$I_a = I_b = I_c = I$

$\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = \varphi$

$\cos(90 - \varphi) = (\cos 90 \ \cos\varphi) + (\sin 90 \ \sin\varphi)$

$= \sin\varphi$

$\therefore Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$Q = 3 V_\Delta \ I \ \sin\varphi$

تعتبر هذه الكمية أكبر من المفروض بـ $\sqrt{3}$ وعلي ذلك فإنها تعالج من خلال ثابت القدرة وعلي ذلك تصبح معادلة القدرة غير الفعالة كالآتي:

$Q = \sqrt{3} \ V_\Delta \ I \ \sin\varphi$

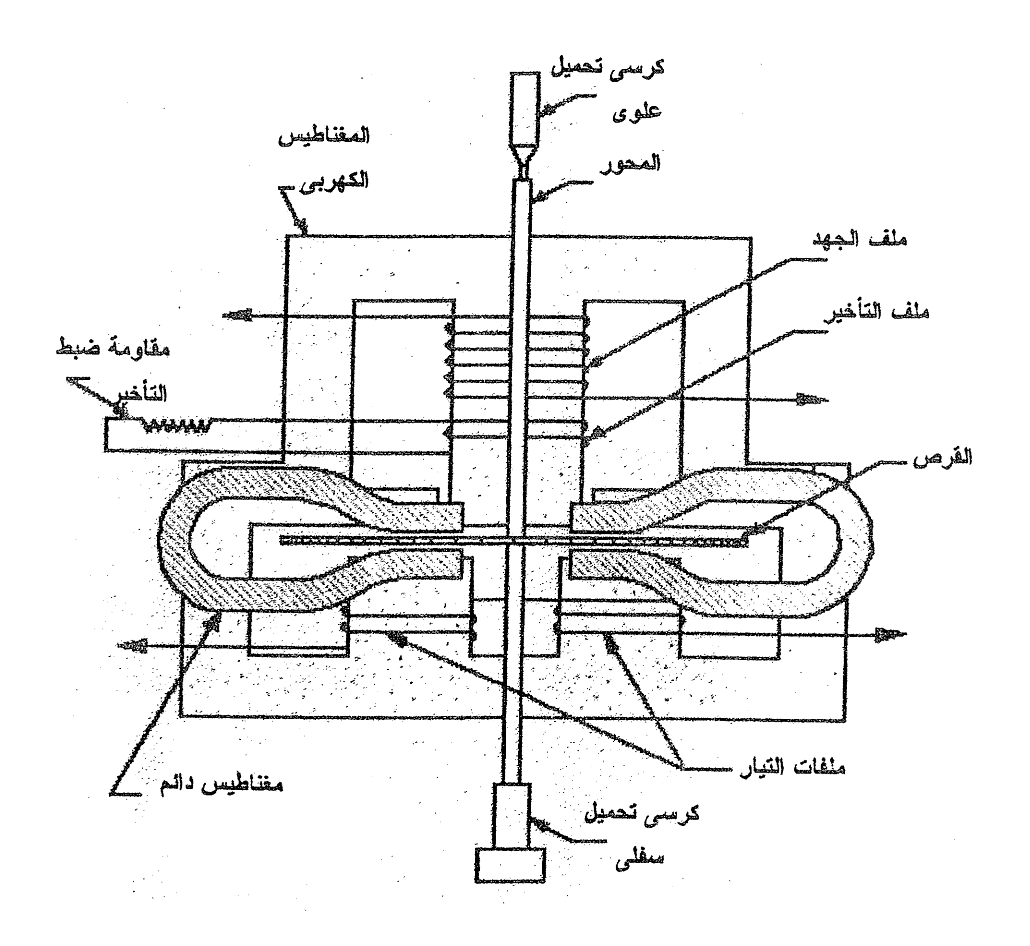
or

$Q = 3 V_\lambda \ I \ \sin\varphi$

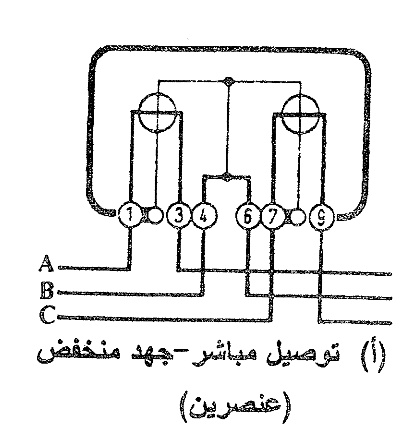
(ملحوظة: يجب مراعاة أن الكمية الأساسية المستخدمة كقدرة أسمية عند إجراء مقارنة هي $3 V_\Delta \ I \ \sin\varphi$)

جدول (A-1) خصائص عدادات الطاقة علي الجهد المنخفض والجهد المتوسط

التصنيف	طريقة التوصيل	الجهد (فولت)	عدد الاطوار	نوع العداد	التيار (أمبير)	نسبة محولات التيار والجهد
عدادات الجهد المنخفض	التوصيل المباشر	220	احادى الطور	طاقة فعالة	10 & 10/40 &50&20/80 &40/80	——
		380	ثلاثي الاطوار	- طاقة فعالة - طاقة غير فعالة التوصيل 4 سلك	5/10 & 10/30 & 30 & 25/50& 25/75 & 20/100 & 50/100 & 100/160	——
	التوصيل من خلال محولات تيار	220	احادى الطور	طاقة فعالة	10	محولات تيار نسب: 250/5 & 150/5 &100/5أمبير
		380	ثلاثي الاطوار	- طاقة فعالة - طاقة غير فعالة التوصيل 4 سلك	5	محولات تيار جميع النسب من: 100/5 وحتي 2000/5 أمبير
عدادات الجهد المتوسط	التوصيل من خلال محولات تيار ومحولات جهد	6600 10500 11000 20000 22000 66000	ثلاثي الاطوار	- طاقة فعالة - طاقة غير فعالة التوصيل3 سلك أو 4 سلك	5	• محولات تيار جميع النسب من 25/5 وحتي 1250/5 أمبير • محولات جهد نسب مختلفة مثل: 6600/110 &11000/110 & 10500/110 & 20000/110 & 66000/110 فولت

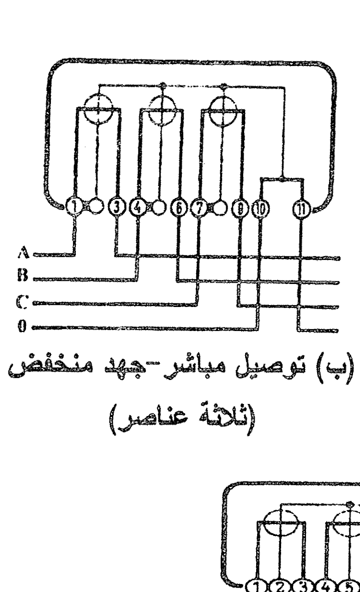


شكل (A-1) المكونات الأساسية لعداد طاقة فعالة تأثيرى – أحادى الطور



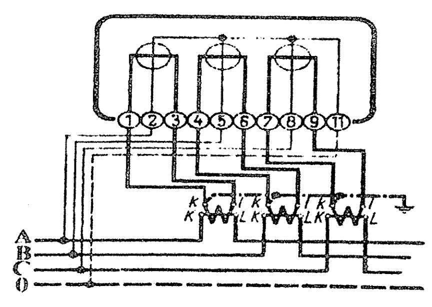
(أ) توصيل مباشر-جهد منخفض

(عنصرين)



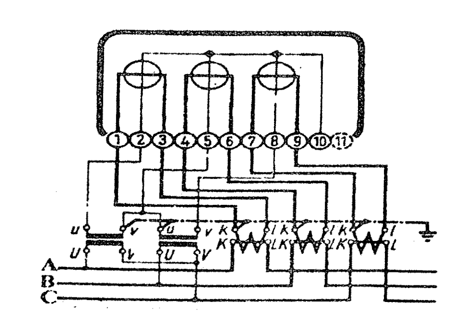
(ب) توصيل مباشر-جهد منخفض

(ثلاثة عناصر)



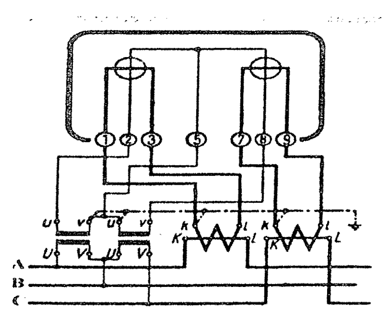
(ج) توصيل من خلال محولات تيار-جهد

منخفض



(د)توصيل من خلال محولات تيار و جهد

(جهد متوسط)-ثلاثة عناصر

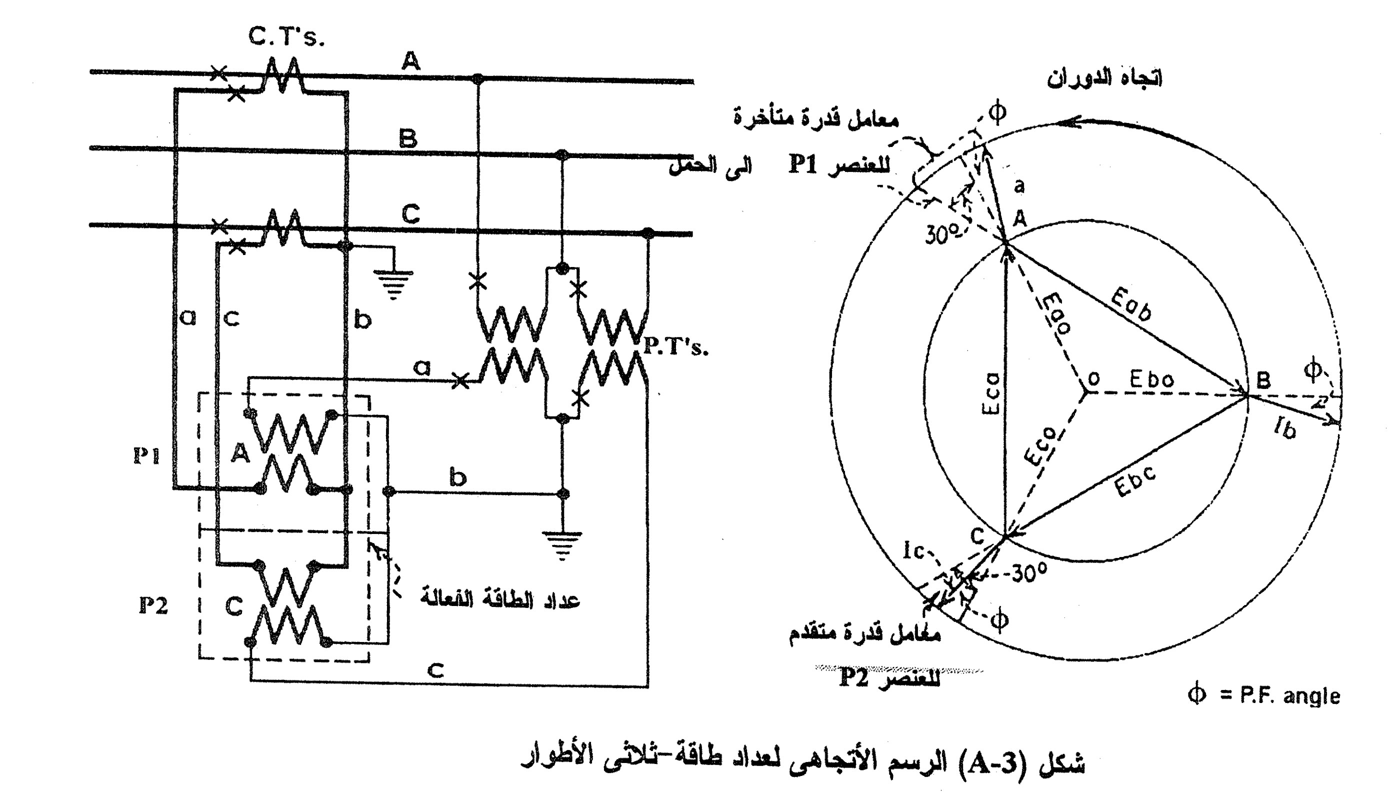


(هـ) توصيل من خلال محولات تيار و جهد

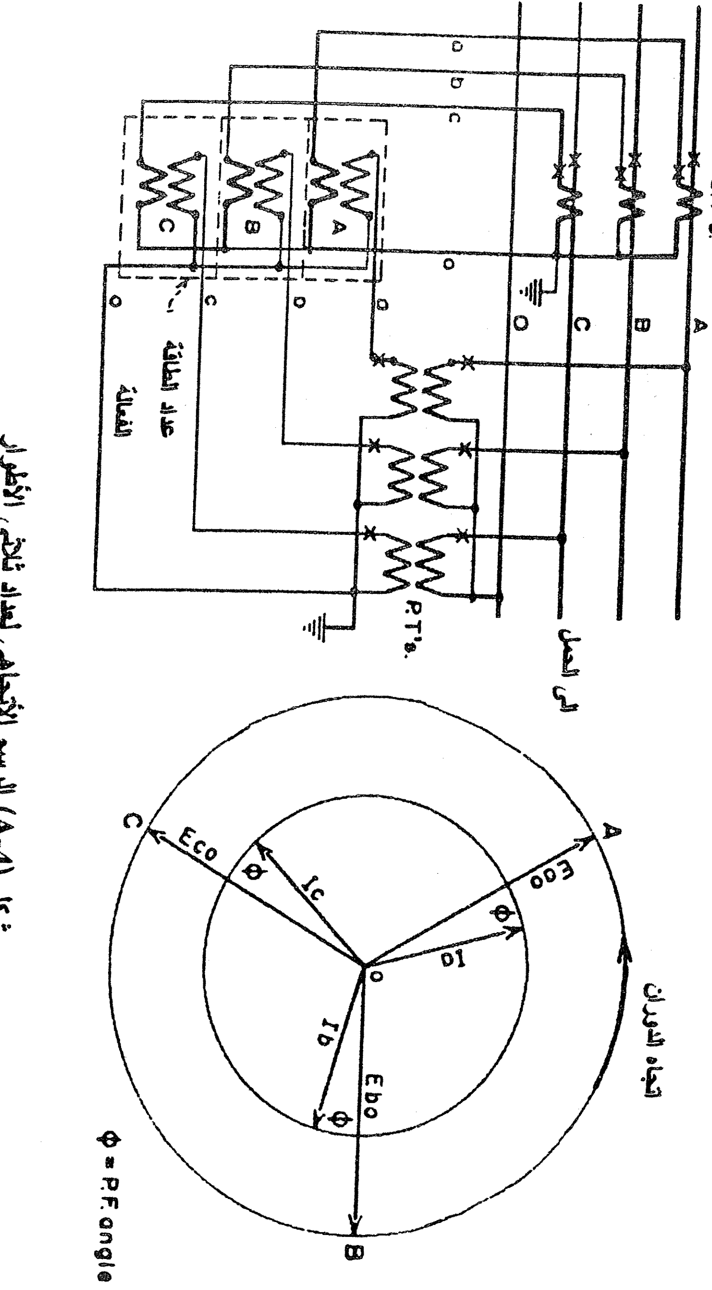
(جهد متوسط)-عنصرين

شكل (A-2) الطرق المختلفة لتوصيل عدادات الطاقة -

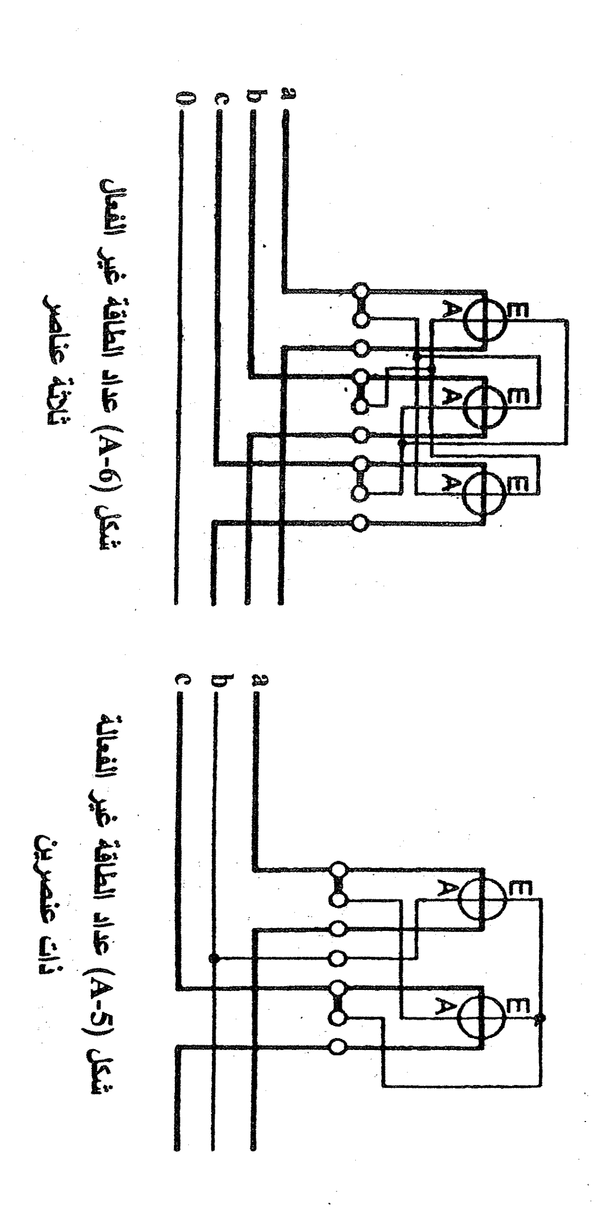
ثلاثية الأطوار-المحتوية على عنصرين او ثلاثة عناصر



شكل (3-A) الرسم الأتجاهى لعداد طاقة-ثلاثى الأطوار
(3 سللك- عنصرين) من خلال محولين تيار
ومحولين جهد



شكل (A-4) الرسم الأتجاهى لعداد ثلاثى الأطوار (4 سلك-3عناصر)



شكل (A-5) عداد الطاقة غير الفعالة
ذات عنصرين

شكل (A-6) عداد الطاقة غير الفعال
ثلاثة عناصر

ملحــق (B)

حصر مصادر الفقد بالشبكات الكهربائية

لمنشآت المشتركين

تعتمد كمية المفقودات الكهربائية بالشبكات الكهربائية لمنشآت المشتركين على عدة عناصر منها :

- كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة
- مكونات الشبكة الكهربائية (محولات – محركات – كابلات ٠٠٠)
- مساحة المنشأة
- طبيعة الأحمال (مثل : أجهزه حديثة حساسة – أجهزه تقليديه – ماكينات اللحام – محركات تيار مستمر – محركات تيار متــردد– مديرات السرعة٠٠)
- التغير فى المتغيرات الكهربائية (التيار– معامل القدرة ٠٠٠)

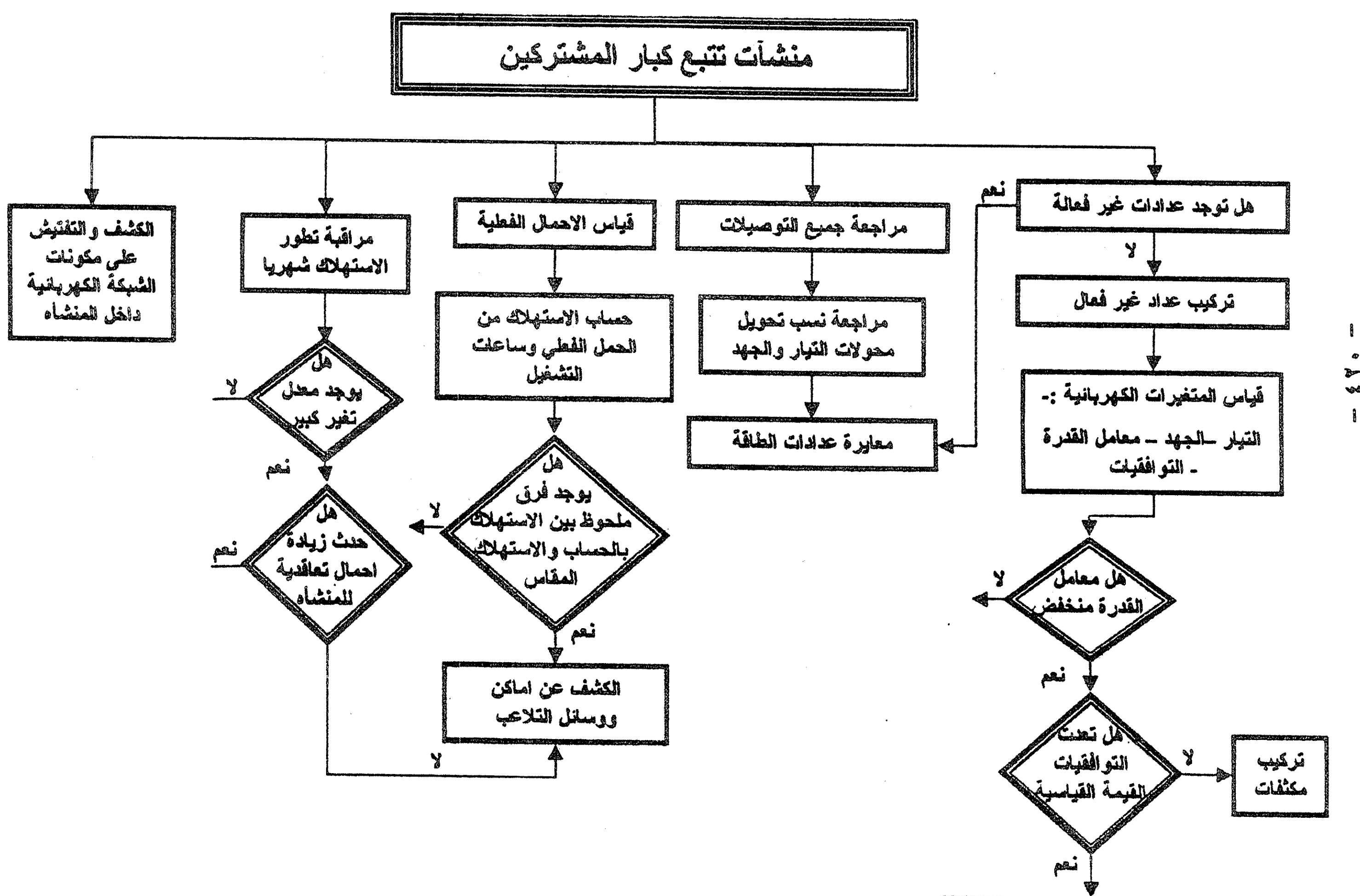
يوضح شكل (B-1) خريطة سريان الكشف عن مصادر الفقد بالشبكات الكهربائية بمنشآت كبار المشتركين والتى توضح أن العناصر الاساسيه هى :

- مراجعة معامل القدرة وتركيب مكثفات أو مرشحات
- مراجعة جميع التوصيلات
- قياس الأحمال الفعلية
- مراقبة تطور استهلاك الطاقة
- الكشف والتفتيش على مكونات الشبكة الكهربائية داخل المنشأة

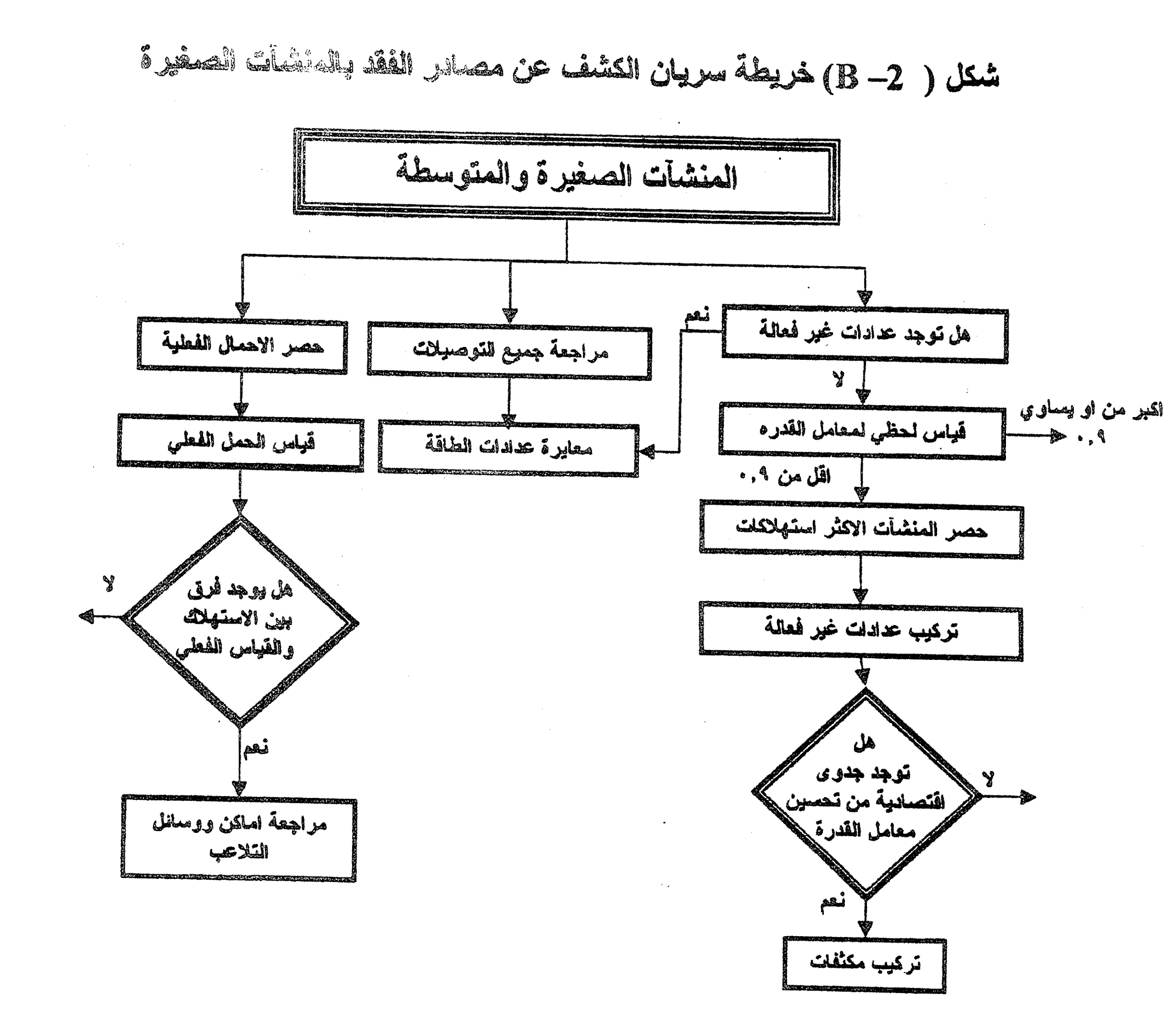
ويوضح شكل (B-2) خريطة سريان الكشف عن مصادر الفقد بالشبكات الكهربائية بالمنشآت الصغيرة والمتوسطة ٠٠ والتى توضح أن العناصر الاساسيه هى :

- مراجعة معامل القدرة وتركيب مكثفات
- مراجعة جميع التوصيلات
- قياس الأحمال الفعلية

شكل (B –1) خريطة سريان الكشف عن مصادر الفقد لدي منشآت كبار المشتركين



شكل (B –2) خريطة سريان الكشف عن مصادر الفقد بالمنشآت الصغيرة



References

[1] IEEE Transactions on Industry Applications ,vol . 1A-21,NO.4 , May /June 1985
Energy Losses in Electrical Power Systems 803-820
[2] Energy Department paper No.6
"Energy Efficiency :Optimization of Electric Power Distribution System Losses"
July 1982
World Bank Energy Department
[3] A preliminary Findings Reports of the
"Office of Energy and Infrastructure Bureau for Research and Development and Cairo Mission , United States Agency for International Development
Volume II
Prepared by:
K&M Engineering and Consulting Corporation Washington , D.C.20036
June 1993
[4] Non -Technical Losses in Electrical Power Systems.
By Dan Suruiyamongkol-Nov.2002
http://www.watthourmeters.com
[5]Improving Methods for Distribution Loss Evaluation
Volume 1:
Analytic and Evaluative Techniques .
EPRI -1983
[6]The scope for energy saving in the EU through the use of energy – efficiency electricity distribution transformers
European Commission ,1999
[7] ANSI/IEEE C57.110 -1986
IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents.
Reaffirmed December 2, 1992
[8]ANSI/IEEE C57. 12. 80. 1978 (R 1987)
American National Standard Terminology for Power and Distribution Transformers.

[9] ANSI/IEEE C57. 12. 91 -1979
American National standard Test Code for Dry – Type Distribution and Power Transformers.
[10] ANSI/IEEE Std. 100 -1984
IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms.
[11]L.Soder E. Thunberg
Conference on Harmonic and Quality of Power
October 1-4 2000 ICHQP , IEEE
"On the Estimation of Harmonic Power Losses in Distribution Systems "
[12] Oury BA Roger BERGERON
Electrical Power Quality and Utilization
Volume 5-No,2-1999 EPQU
" Harmonic costs on Distribution Power System "
[13]http://www.cda.org.uk/
[14]Electricity Distribution Management – SwedPower - Sweden
[15]The Performance and design of alternating current machines
By M. G. Say 1958
[16] Electrical Transmission and Distribution Reference Book – Westinghouse
[17]http://shakti.hypermart. net/electricity/system-loss.htm
[18]http://www.usbr. gov/power/data/
[19]http://www. Metering . com/
[20]http://www. Psebindia. Org/
[21]http://home. Metroweb.co. za/
[22]http://www. Geoinformatics . com/
[23]http://www. Iconmeter . com/
[24]http://www. Foster Miller . com/
[25]http://www. Iurpa. Org
[26]http://www. Laurenselectric. com
[27]http://www.totse. com/
[28]http://www.engr. colostate. edu/
[29]http://members. rediff. com/seetech/Transformers.htm
[30]http://www. Powersystems.ca/dry.pdf

[31]http://www.generalcable.co.nz
[32]p. Caramia, G. Carpinelli , E. Di Vito, A. Losi, and p. Verde, "Probabilistic Evaluation of the Economical Damage due to Harmonic Losses in Industrial Energy Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol . 11, no. 2, April 1996, pp. 1021-1031 .

للمؤلفة :

١- المكثفات وتحسين معامل القدرة
٢- المحولات الكهربائية- الجزء الأول
٣- المحولات الكهربائية- الجزء الثاني
٤- الوقاية فى الشبكات الكهربائية - الجزء الأول
٥- التوافقيات فى الشبكات الكهربائية
٦- جودة التغذية الكهربائية
٧- الإضاءة وتوفير الطاقة
٨- الوقاية فى الشبكات الكهربائية - الجزء الثاني
٩- إدارة طلب الطاقة - الجزء الأول
١٠- البيئة وغازات الاحتباس الحراري
١١- إدارة طلب الطاقة - الجزء الثاني
١٢- اضطرابات جودة التغذية الكهربائية
١٣- أر شادات لوسائل التوعية لترشيد استخدام الطاقة
١٤- ٧٥ فرصة لترشيد استخدام الطاقة
١٥- الفقد فى الطاقة الكهربائية

الفقد فى الطاقة الكهربائية

رقم الايداع بدار الكتب المصرية
٩٨١٧ / ٢٠٠٤
٢٠٠٤/٥/٢٣

دار الجامعيين
لطباعة الأوفست
٣٧ شارع السلطان عبد العزيز - الأزاريطة
ت ٤٨٦٢٠٠٤